

500,956

19-10-82

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.

SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL.

"EFECTO DE LA RESPIRACION ENDOGENA

EN LA REMOCION DE GRASAS Y ACEITES"

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

M. RAMON BALLESTEROS FIGUEROA.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

T. UNAM  
1982  
BAL

EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION  
SE REALIZO EN FORMA CONJUNTA ENTRE  
LOS ALUMNOS:

- . FRANCISCO DE LA TORRE DE LA TORRE
- . MAURO RAMON BALLESTEROS FIGUEROA

EN VIRTUD DE LO ÉXTENSO DEL TEMA, YA  
QUE SE TOCAN DOS ASPECTOS FUNDAMENTA-  
LES:

1. DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE  
TRATABILIDAD DE UN SUSTRATO DE LE-  
CHE ENTERA.
2. REMOCION DE GRASAS Y ACEITES

ESTE ÚLTIMO ASPECTO CORRESPONDE AL  
ING. BALLESTEROS.

# C O N T E N I D O

## I. ANTECEDENTES

### I.1. OBJETIVOS

## II. INTRODUCCION

### II.1. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

### II.2. GRASAS Y ACEITES

### II.3. CONSIDERACIONES PREVIAS

## III. CONSTANTES DE TRATABILIDAD

### III.1. DEFINICIONES

### III.2. FORMULACION DE UN REACTOR DE FLUJO CONTINUO

### III.3. CONSTANTES ( $K$ , $a$ , $b$ , $a'$ , $b'$ , )

## IV. DESARROLLO DE LA INVSTIGACION

### IV.1. EQUIPO NECESARIO

### IV.2. OPERACION DE LA INVESTIGACION

## V. RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES

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

### V.2. RESULTADOS DE LABORATORIO Y ANALISIS SOBRE REMOCION DE GRASAS Y ACEITES

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1. CONCLUSIONES

### VI.2. RECOMENDACIONES

## I. ANTECEDENTES.

Un parámetro fundamental para evaluar las condiciones de calidad de un agua residual y de gran importancia en el diseño y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales son las grasas y aceites.

El presente trabajo, se realizó en base a la necesidad actual de conocer de una forma más concreta el comportamiento que sigue este contaminante en las plantas de tratamiento de aguas residuales, y de esta forma obtener información al respecto para una posible asignación de cuotas a los usuarios en las plantas en las cuales se realiza un tratamiento conjunto.

El desconocimiento de la cinética del proceso de remoción de grasas y aceites y de su comportamiento en las plantas convencionales de lodos activados, ha motivado que se realice un esfuerzo para conocer lo anterior. En el pasado congreso de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria S. C., celebrado en el año de 1980 en la cd. de Monterrey, N. L., se hizo presente esta inquietud, motivando con éllo una serie de planteamientos al respecto.

En relación a la asignación de cuotas a los usuarios de las plantas de tratamiento, existe una serie de circunstancias que dificultan el proceso de fijación de cuotas, entre otras son:

- a) Las plantas de lodos activados tipo convencional, surgieron cuando el contaminante predominante era la materia orgánica de las aguas negras municipa -

les. En la actualidad se catalogan más de 200 contaminantes.

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

De los 200 contaminantes antes mencionados, permanecen en orden de importancia, la materia orgánica, los metales pesados, otros tóxicos y las grasas y aceites.

En lo referente a las grasas y aceites, la información que se encuentra es poca, y al hacer una búsqueda de las características de degradación biológica, al menos en las fuentes comunes de información no se encuentran datos ni descripciones precisas.

#### I.1. OBJETIVOS.

- a) Se pretende obtener el orden de reacción en la remoción de grasas y aceites en un reactor de proceso de operación continua, modelo de un proceso de lodos activados.
- b) Obtener constantes de remoción de grasas y aceites en el proceso de lodos activados.
- c) Obtención de parámetros de sustrato utilizado en las celdas de Eckenfelder, para poder correlacionar con los valores que se obtengan en lo referente a grasas y aceites.

- d) Obtener la eficiencias de remoción en los procesos de lodos activados convencional y aireación extendida.

## II. INTRODUCCION.

### II.1. PROCESO DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS.

Este proceso fué desarrollado en Inglaterra en 1914 - por Andern y Lockett (1) 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 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 denomina sólidos suspendidos 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 ésto que se recomienda una concentración de SSVLM de 2000 a 3000 mg/l en el reactor (2), 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, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes en el sistema de lodos activados; como los protozoarios y rotíferos actúan como depuradores de efluentes. Los protozoarios consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado.

De igual forma 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 éllo es un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la sedimentación.

### II.1.1. PARAMETROS DE DISEÑO.

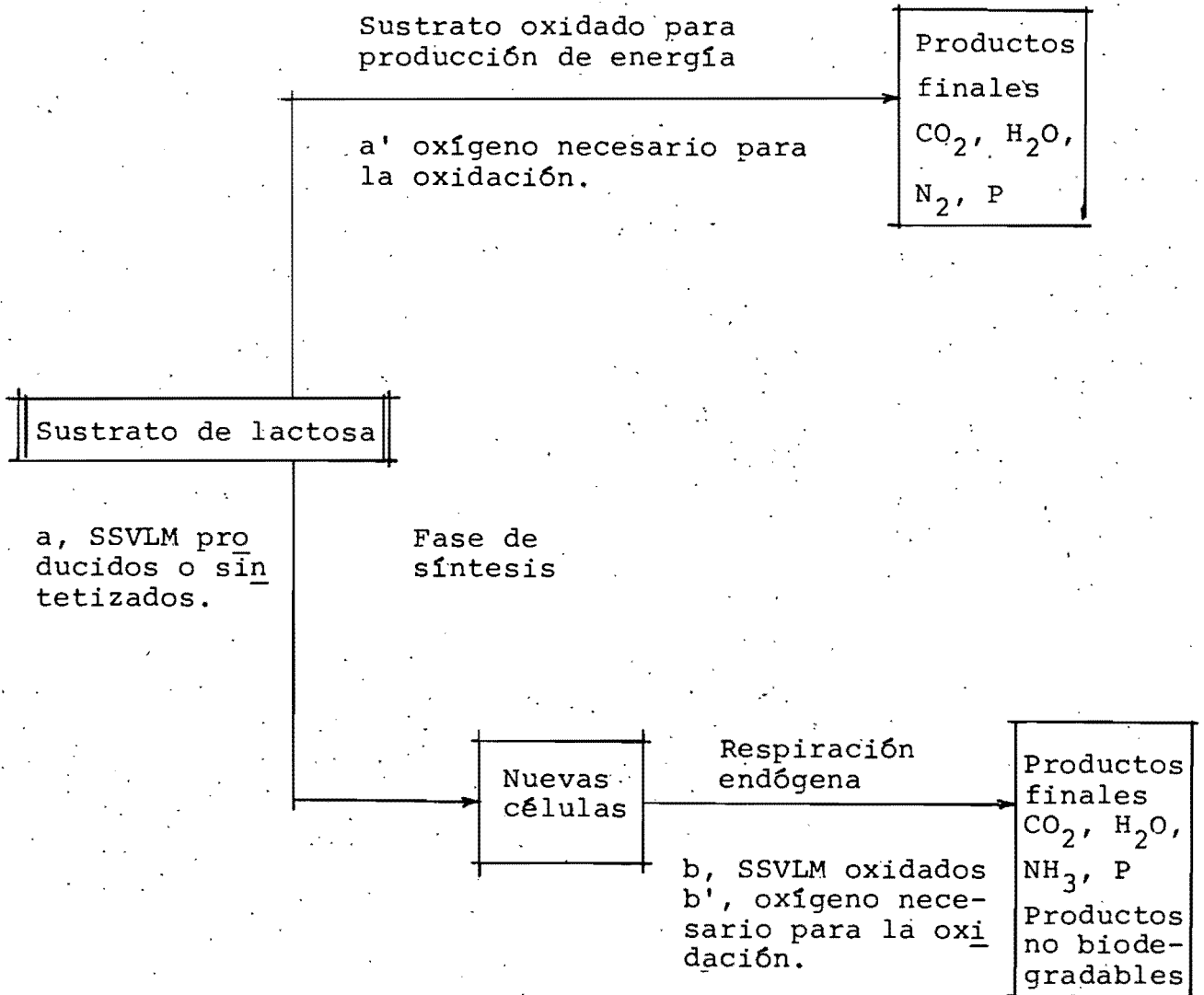
Para poder aplicar los modelos matemáticos para el diseño, es importante determinar parámetros matemáticos obtenidos por medio de ecuaciones matemáticas utilizando datos experimentales de una serie de pruebas a escala de reactores en el laboratorio.

Un pertinente estudio es determinar:

- a) Cinética de remoción en el reator.
- b) Balances de material para la determinación de la utilización de oxígeno y la producción neta de sólidos.
- c) Condiciones óptimas de sedimentación de los lodos.

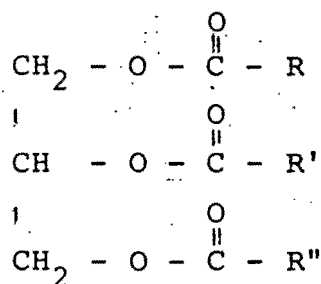
El autor Ramalho (2) determina los siguientes parámetros:  $k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $a'$ ,  $b'$ .

- 1.-  $k$ , es la constante de rapidez de remoción del sustrato en el reactor biológico de flujo continuo, expresada en  $\text{día}^{-1}/\text{mg/l}$ .
- 2.- Las otras constantes se pueden ejemplificar con la biodegradación de un sustrato de lactosa.



## II.2. GRASAS Y ACEITES.

Estructuralmente, las grasas son ésteres. En las llamadas grasas neutras (triglicéridos) el alcohol es el glicerol, el cual está esterificado con ácidos grasos; estos - pueden ser iguales o diferentes:



El término grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se encuentran en el agua residual. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas.

Si el ácido graso esterifica a un alcohol de elevado peso molecular, en vez del glicerol, el compuesto resultante recibe el nombre de cera.

Las grasas animales y los aceites, son cuantitativamente el tercer componente de los alimentos(1).

Las grasas y aceites, se pueden clasificar por su polaridad y su 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 difícil

de biodegradar. Las grasas son de los compuestos orgánicos más estables, y no se descomponen fácilmente por la acción de las bacterias.

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

El contenido de grasas del agua residual puede motivar problemas tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento.

El contenido de grasas se determina mediante extracción de la muestra con hexano (en el que es soluble). Otro grupo de sustancias solubles en hexano son los aceites minerales, tales como aceites lubricantes, aceites procedentes de materiales bituminosos usados en construcción de carreteras.

Los contenidos en promedio de grasas en un agua residual de origen doméstico son (1) :

	CONCENTRACION mg/l
FUERTE	150
MEDIA	100
DEBIL	50

### II.2.1. PROCESOS COMUNES DE REMOCION DE GRASAS Y ACEITES.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, a menudo se utiliza un 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, la floculación, y en ocasiones se utiliza la precloración.

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

### II.3. CONSIDERACIONES PREVIAS.

La falta de información sobre el tema, y el desconocimiento de los posibles resultados, obligó a que se hicieran ciertas consideraciones.

La primera consideración, fué optar directamente por la determinación de los parámetros de diseño, basándose en los modelos matemáticos y nomenclatura utilizada por el autor Ramalho (2), por tenerse experiencias previas en trabajos anteriores (3).

La segunda consideración de importancia, era de determinar el tipo de sustrato de alimento, y el tipo de grasas a investigar. Se optó por utilizar un sustrato de leche entera, por la facilidad en dosificar el alimento necesario y por contener además grasas de origen animal, que para com

Conocer el comportamiento de las grasas como investigación -- inicial, se presentó muy adecuado. El sustrato utilizado -- fué leche entera Nesbrun, por conocer el contenido de grasa en porciento en peso.

### III. CONSTANTES DE TRATABILIDAD.

#### III.1. DEFINICIONES.

El autor Ramalho (2), presenta un diagrama de flujo del proceso de lodos activados convencional como el mos-trado en la figura 3.1.

La definición de los símbolos usados en esta figura es la siguiente:

Clave:

Para sólidos suspendidos se utilizan índices dobles, por - ejemplo  $X_{N,i}$ ;  $X_{NV,i}$ ; V, significa volátil; NV, no volátil. El siguiente índice, i, indica una corriente en particular.

- F.- Alimentación cruda (corriente 1)
- O.- Alimentación combinada (corriente 2)
- a.- Efluente del reactor (corriente 3)
- e.- Efluente neto (corriente 4)
- u.- Corriente de lodos del sedimentador secundario (corriente 5).

A continuación se da el significado de los símbolos

1.- Gastos.

$Q_F$ .- Alimentación cruda (corriente 1)

$Q_R$ .- Recirculación (corriente 2)

r.- Relación  $Q_R/Q_F$ .

Q.- Alimentación combinada,  $Q = Q_F + Q_R =$

$Q_F(1 + r)$  (corriente 2). (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

$Q_u = Q'' + Q_R = Q'' + rQ_F$ . (corriente 5).

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

$S_F$ .- DBO soluble de la alimentación cruda.

$S_O$ .- DBO soluble de la alimentación combinada.

$S_e$ .- DBO soluble del efluente.

3.-  $X_V$ .- Concentraciones de sólidos suspendidos volátiles -

SSV . (mg/l).

$X_{V,F}$ .- 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 ( $X_{V,e} = 0$ )

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

$X_{NV,F}$ .- 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.

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

$\nabla X_v$ .- Producción o, rendimiento neto de SSVLM (Sólidos suspendidos volátiles del licor - mezclado).

$\nabla X_{NV}$ .- Desperdicio de SSNV.

$X_t$ .- Rendimiento total de lodos:

$$\nabla X_t = \nabla X_v + \nabla X_{NV} + Q_F X_{V,F}$$

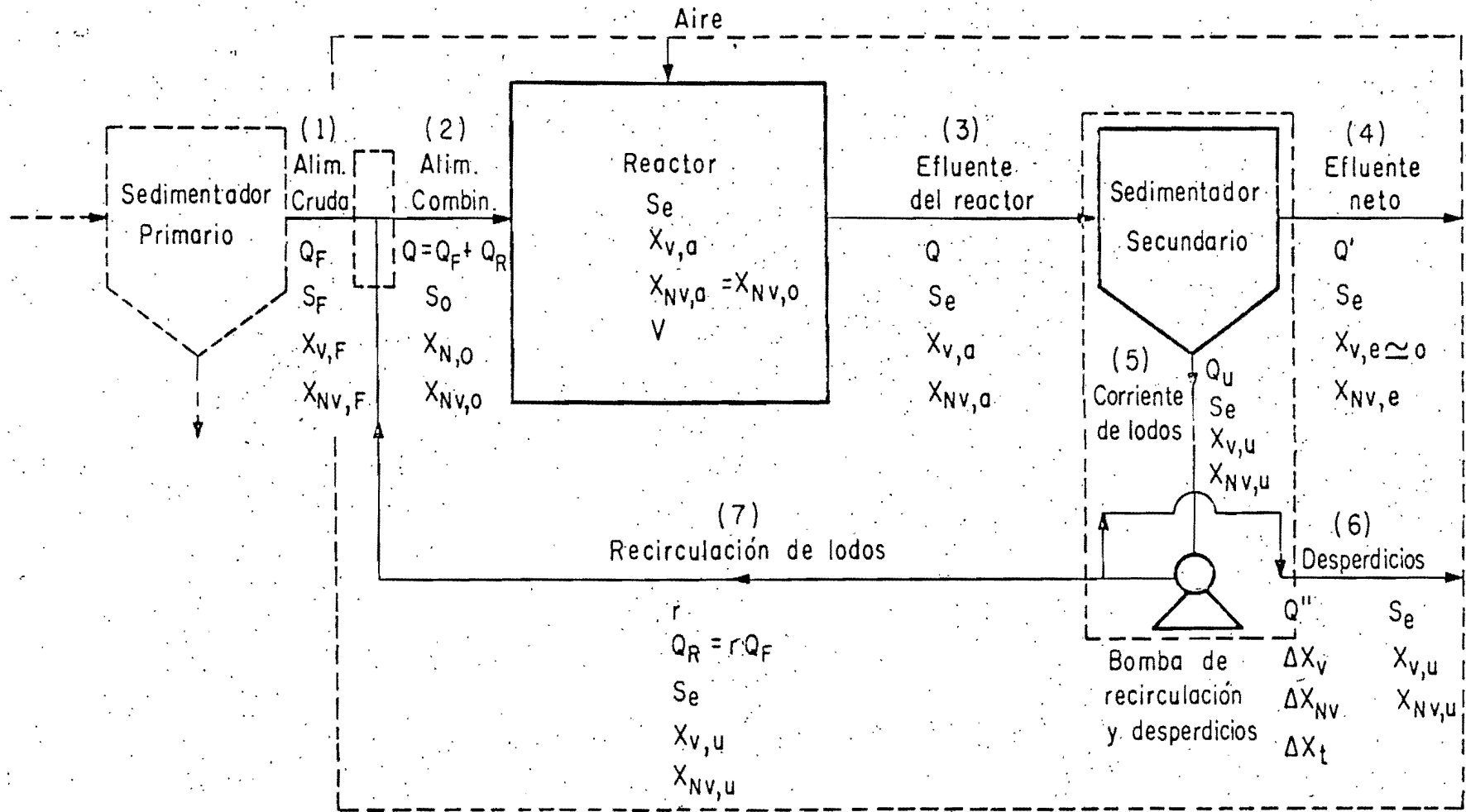
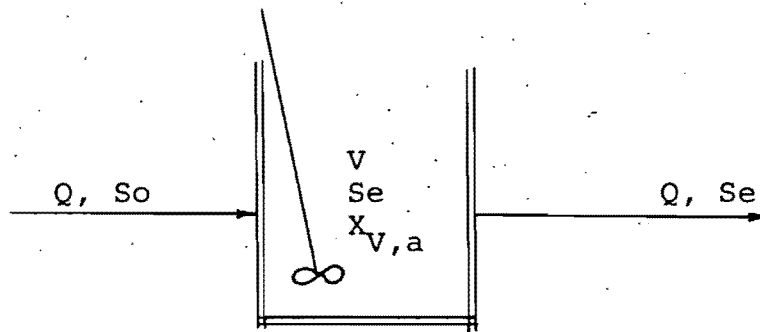


Fig 3.1 Proceso de lodos activados convencional

6.- V. Volumen del reactor.

III.2. FORMULACION DE UN REACTOR DE FLUJO CONTINUO.

En un reactor de flujo continuo operado en concentraciones de sustrato ( $S_e$ ) considerablemente bajas, menores de 500 mg/l 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/l de SSVLM presentes en el reactor ( $X_{V,a}$ )

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

De donde:

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

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

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

Cambio de -				
sustrato en	=	Lo que	Lo que	Lo que se
el reactor		entra	sale	degrada
0	=	$Q S_o$	$- Q S_e$	$- k X_{V,a} S_e V$

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

A la ecuación anterior se le puede reordenar como:

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

Si  $t = \frac{V}{Q}$  = tiempo de residencia en el reactor, en días.

De donde:

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

Expresado en mg/l será:

$$\begin{aligned} \frac{(S_o - S_e)}{X_{V,a} t} &= \frac{\text{mg/l de DBO removido}}{\text{mg/l de SSVLM (día)}} = \\ &= \text{mg DBO removido/ mg de SSVLM (día)} \end{aligned}$$

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):

$$(S_o - S_e)/X_{V,a} t \quad \text{vs.} \quad S_e.$$

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

Cuando la materia no biodegradable está presente se modifica la ecuación incluyendo el valor  $S_n$ , que es la concentración de materia orgánica no biodegradable por el reactor:

$$\frac{(S_n - S_e)}{X_{V,a} t} = k (S_e - S_n)$$

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

a.- Es la relación de los kg de SSVLM producidos entre el total de kg de sustrato removido.

Se puede determinar con la siguiente expresión:

$$\frac{\nabla X_t / V}{X_{V,a}} = a \left[ (S_o - S_e) / X_{V,a} t \right] - b \quad \text{--- (3.2)}$$

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

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

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:

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

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

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

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

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

#### IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION.

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

Las condiciones del experimento, como son el número de reactores utilizados, tipo de sustrato, concentraciones de

alimentación y tiempo de retención, se seleccionaron en base a experiencias tenidas con anterioridad.

La bibliografía en general, recomienda el uso de 4 a 5 reactores trabajando paralelamente, bajo diferentes condiciones de operación, para de esta forma, tener una visión más exacta en la determinación de las constantes cinéticas, y además para ahorrar tiempo, ya que se podría utilizar un solo reactor variando en éste las condiciones de operación hasta obtener representatividad del proceso, acarreado con éllo un aumento en el período de pruebas, con el consiguiente riesgo de que el proceso presente altibajos en su operación.

El tipo de sustrato utilizado permite una gran facilidad en su adquisición y manejo, y además su uso se determinó para que sirviera de continuación al trabajo anterior referido a sustrato descremado.

En lo referente a las concentraciones de alimentación seleccionadas de 1,000, 880 y 770 mg/l para los reactores 1, 2 y 3 respectivamente, el doble de la alimentación de un trabajo anterior con sustrato descremado considerando que el contenido de grasas y aceites por ser difíciles de degradar podría repercutir en el proceso, por lo cual se optó por duplicar la concentración.



El tiempo de retención seleccionado, se determinó en base a la geometría del reactor, que arrastra sólidos al efluente, a las bajas constantes de tratabilidad del sustrato en cuestión y a las condiciones que se fueron observando durante el desarrollo del experimento.

#### IV.1. EQUIPO NECESARIO.

El equipo necesario para operar el reactor de flujo de operación continua es el siguiente:

- Sistema de alimentación continua del influente, regulado con bombas dosificadoras para mantener gasto constante'
- Sistema de inyección de aire
- Reactores; 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.

##### IV.1.1. CELDA DE ECKENFELDER.

En la figura 4.1 se presenta un esquema de la celda de Eckenfelder (2), en éste se puede observar de las partes que constituye, y en cuadro 4.1 se muestran las dimensiones de las tres celdas de Eckenfelder utilizadas.

##### IV.1.2. DETERMINACION DE GRASAS Y ACEITES, MEDICION DE OXIGENO DISUELTO.

La determinación de grasas y aceites se realizó,

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. A esta masa, se le practica la extracción usando un solvente con ayuda del aparato de extracción Soxhlet.

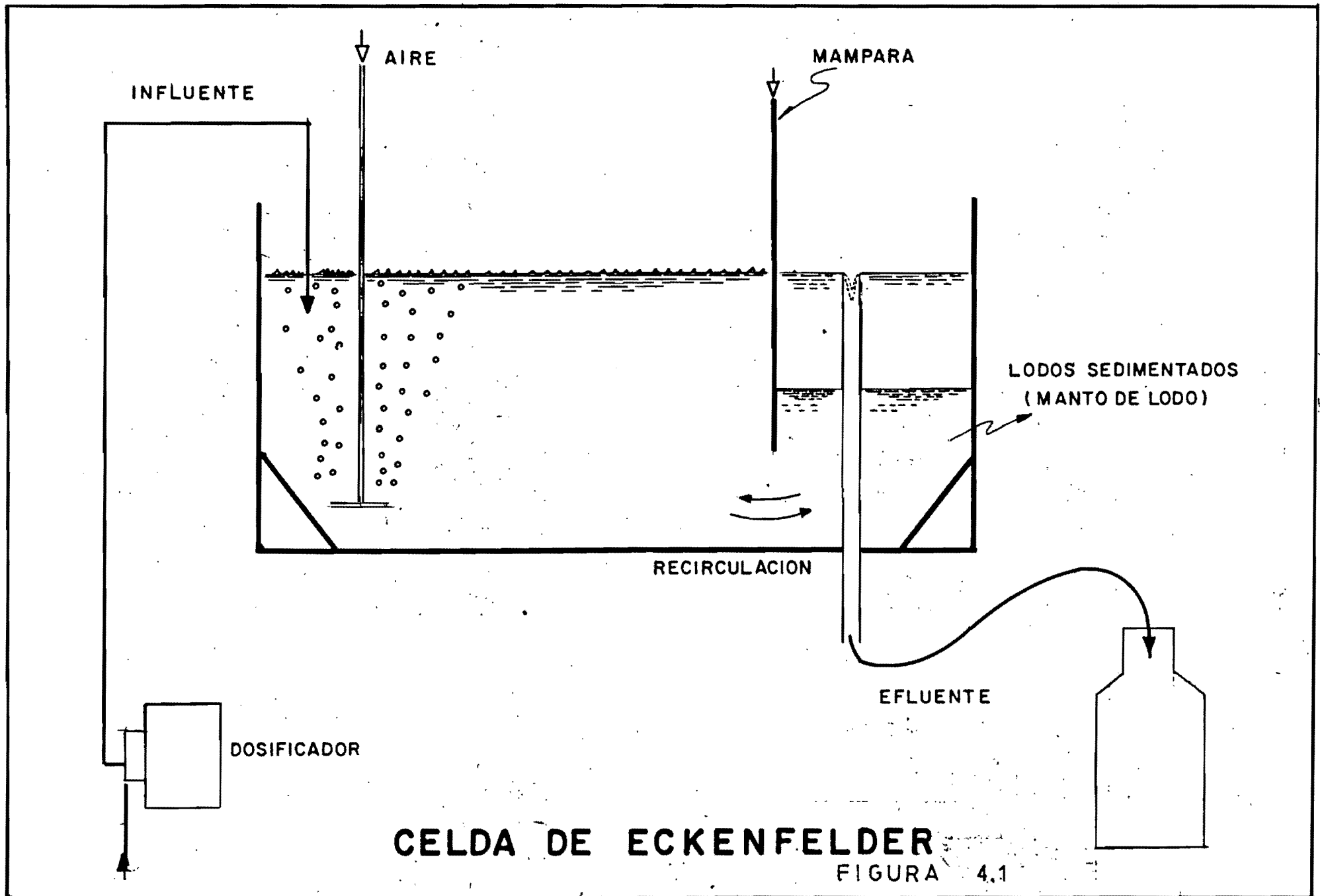
La medición de oxígeno disuelto se realiza con un - medidor YSI modelo 54 ARC y 54 ABP, que tiene sensores polarográficos recubiertos por una membrana.

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

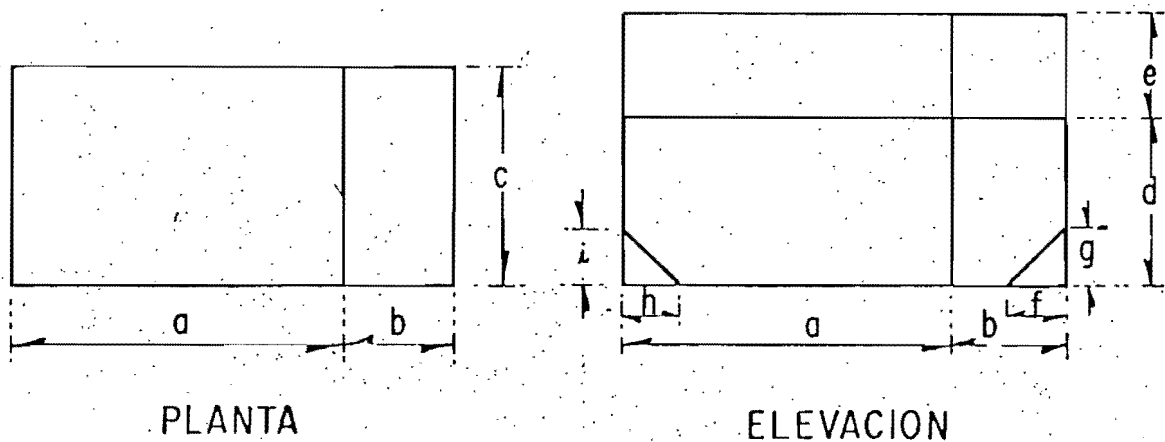
#### IV.2. OPERACION DE LA INVESTIGACION.

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

- 1.- Llenar con agua las celdas y medir su volumen útil, - luego desechar el agua.
- 2.- Colocar en las celdas lodos activados de la Planta de Chapultepec, 1.5 l en cada celda, luego de ser sedimentados durante media hora.
- 3.- Poner en tanques de 50 litros la solución de alimento con las concentraciones seleccionadas, 1,000, 880 y - 760 mg/l., para los reactores 1, 2 y 3 respectivamente, y dosificar los gastos de alimentación de 20, 15 y 10 ml/min a los reactores 1, 2 y 3 en orden.



**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	l
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.- Conectar la alimentación de aire, el efluente y subir la pantalla 1 a 2 cm del fondo de la celda.

Para conseguir las condiciones estables de funcionamiento de las celdas, se requiere de 2 a 4 semanas. Las condiciones de equilibrio se asumen cuando se satisfacen los siguientes 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 constante.
- c.- La DBO del efluente ( $S_e$ ), 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 en volumen de 0.5 litros en la cámara de mezclado durante lapsos de 12 ó 24 horas. Fué suprimida esta adición tres días antes del período de pruebas, para evitar una influencia del agua oxigenada en las determinaciones. También se controló la alcalinidad de cada celda.

#### IV.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 alcanzar la estabilización, que son los resultados de laboratorio que se reportan.

En cuanto a las determinaciones de grasas y aceites, se programaron como se muestra en la parte inferior del mismo cuadro, pero cabe hacer las siguientes aclaraciones:

- 1.- Se determinaron las grasas que contenía el sustrato de leche entera (Nesbrun), llegando a comprobar que contenía el 28% en peso de grasas, similar al dato que proporcionaron los fabricantes de esta leche. Razón por la cual, se asumió como valor promedio el 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 realizó, debido a que no se conocía que efecto podía tener dentro de un reactor de flujo 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 limitaciones de personal y equipo de laboratorio.
- 4.- Cabe aclarar que el reactor número 3, se encontraba

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

en proceso de respiración endógena cuando se llevaron a cabo los análisis de grasas y aceites, esto se determinó puesto que no se desechaban lodos y sin embargo se observó una disminución de SSVLM.

## V. RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES DEL SUSTRATO UTILIZADO (LECHE ENTERA NESBRUN).

### V.1. RESULTADOS DE LABORATORIO Y CALCULO DE CONSTANTES.

#### V.1.1. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Los resultados obtenidos de cada reactor para la determinación de constantes del sustrato de leche entera, se muestran en los cuadros 5.1, 5.2 y 5.3.

#### V.1.2. DETERMINACION DE LA TASA DE CONSUMO DE $O_2$ .

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

La medición se realizó con un equipo "YSI", 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 obtuvo en el trabajo realizado con leche descremada Nesbrun (3).

Los resultados obtenidos para cada uno de los reactores (en promedio) son los siguientes:



	CONSUMO mg O <sub>2</sub> /l x día		
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
LECHE DESCREMADA	638	275	164
LECHE ENTERA	1596	1026	686

Este aumento de consumo de O<sub>2</sub> en el sustrato de leche entera se puede deber a dos factores; en primer lugar a una concentración mayor de la suspensión de alimento, y en segundo lugar a que un sustrato más complejo de degradar demande con mayor rapidez el consumo de oxígeno.

### V.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 tomaron las siguientes consideraciones:

a.- Los datos de DBO del influente, efluente, SSVLM, gasto, consumo de O<sub>2</sub>, producción de lodos e 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 mués

tran en los cuadros de resultados, fueron obtenidos de la diferencia entre los días en que hubo incremento de lodos, entre el número de días en que ocurrió dicho incremento.

Cabe hacer notar, que al observar la tabla, todos los resultados van de acuerdo con las dosificaciones del sustrato de alimento y los gastos, pero resaltan los altos valores obtenidos referentes al IVL. Estos valores altos indican una mala sedimentación de lodos, lo que en realidad se observó durante las pruebas de laboratorio.

Comparando los resultados obtenidos en el trabajo con leche descremada se tiene:

REACTOR	I V L (ml / g)	
	LECHE ENTERA	LECHE DESCREMADA
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 de IVL puede 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 por emulsión de las grasas en la cámara de mezcla del reactor.

Para la determinación de las constantes se siguió el procedimiento siguiente:

- 1.- Para la determinación de  $k$ , se elaboró 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  $k$ , queda determinado por la pendiente de la recta de mejor ajuste.  $S_n$  corresponde al valor del corte de la recta con la absisa.
- 2.- Para la determinación de las constantes de utilización de oxígeno  $a'$  y  $b'$  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  $a'$  corresponde a la pendiente de la recta de mejor ajuste,  $b'$  corresponde al valor del corte de la recta con la ordenada.
- 3.- Para la determinación de las constantes de producción de lodos  $a$  y  $b$ , 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 orde  
nada.

Los valores obtenidos son los siguientes:

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

$$a = 0.228 \text{ mg SSVLM/mg total de DBO}_5 \text{ removidos}$$

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

$$a' = 0.69 \text{ mg O}_2/\text{mg total de DBO}_5 \text{ removidos.}$$

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

Los resultados se resumen en el cuadro 5.10. Además en este cuadro se presentan los valores obtenidos en el traba  
jo con leche descremada y valores dados por el autor Ramalho (2), como valores comunes encontrados en las aguas residuales de origen doméstico.

Considerando este cuadro se observa que la constante de rapidez de remoción del sustrato es menor el de leche -  
entera que el de leche descremada, lo cual demuestra que la -  
primera es un sustrato más difícil de degradar, posiblemente

por la presencia de las grasas.

Los demás resultados, se muestran congruentes entre los dos sustratos de leche, y cabe hacer notar 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, además estas constantes son utilizadas para el diseño.

## V.2. RESULTADOS DE LABORATORIO Y ANALISIS SOBRE REMOCION DE GRASAS Y ACEITES.

### V2.1. 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 de donde se realiza 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 porcentaje 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 ob-

## 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 l/d	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										

CUADRO 5.1

DATOS DE LABORATORIO  
REACTOR N-2

FECHA	DBO mg/l.		%remoc. DBO	GRASAS mg/l.			X <sub>v,a</sub> SSVL mg/l.	$\Delta X_{t/v}$ 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	$\Delta X_t$ $\frac{1}{d}$	Q GAST $\frac{ml}{min}$	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				

CUADRO 5.3



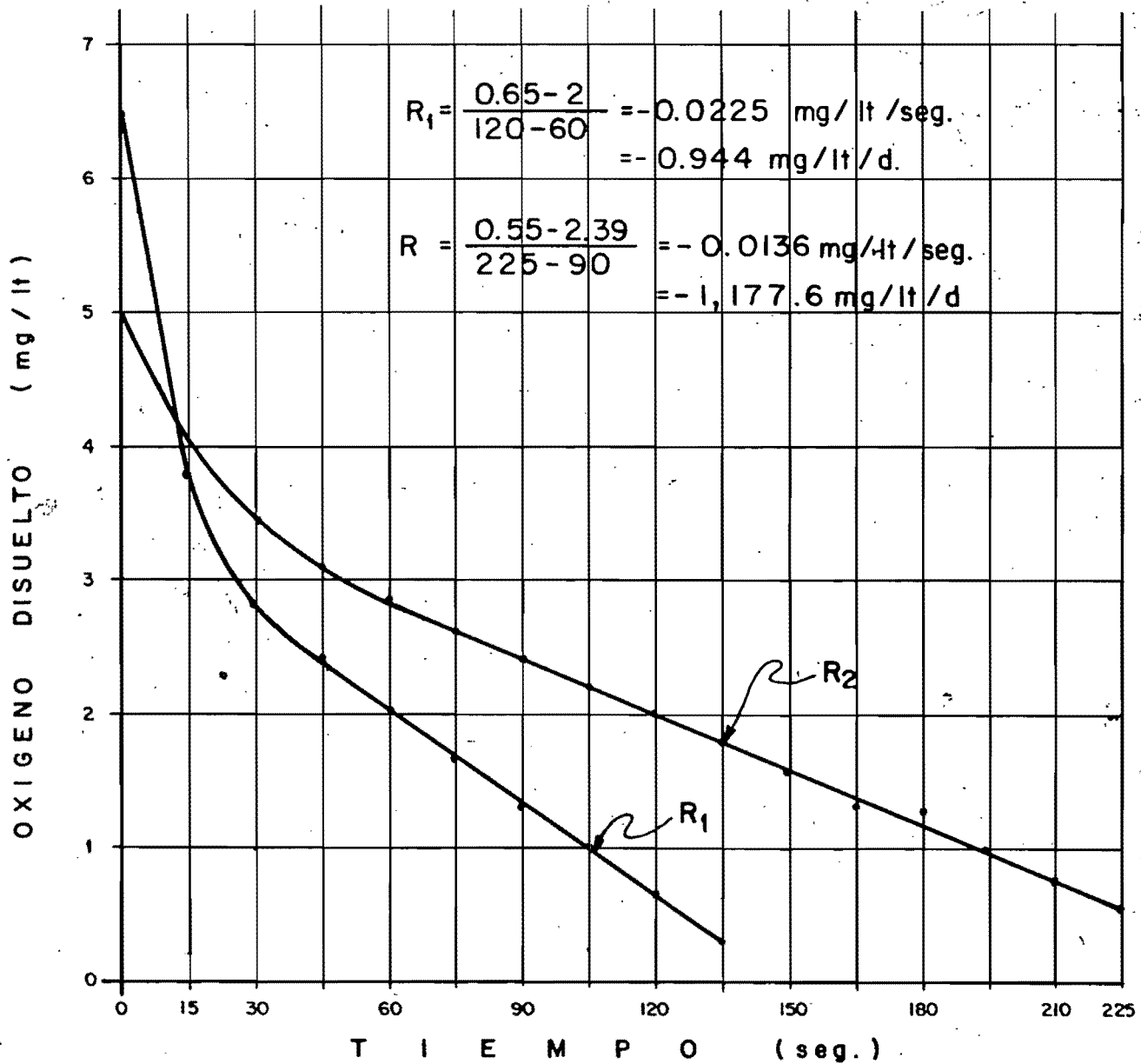
MEDICION DE LA TASA DE  
CONSUMO DE OXIGENO

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

CUADRO 5.5

## TASA DE CONSUMO DE OXIGENO

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

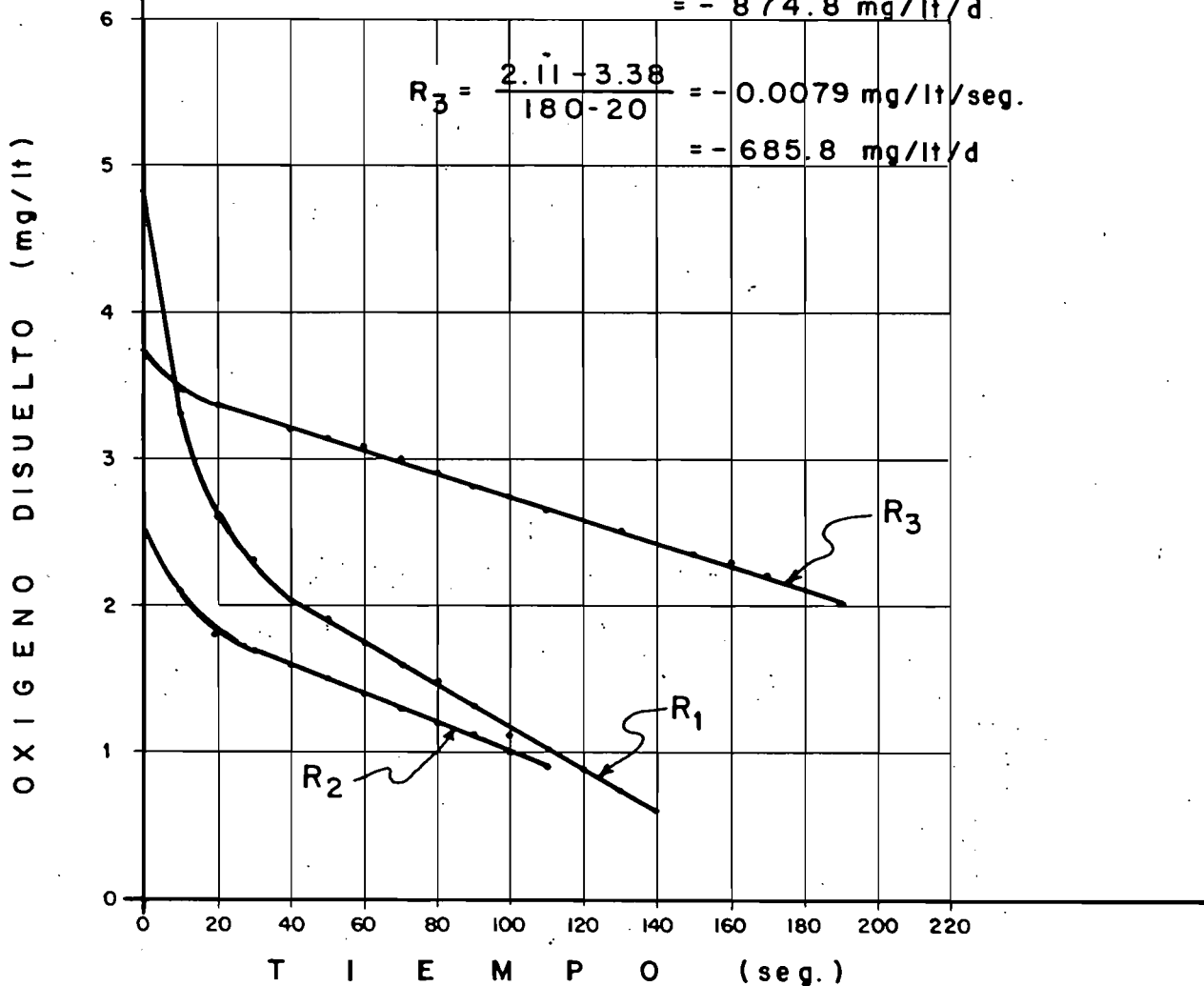
$$= -1,248 \text{ mg/lit/d}$$

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

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

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

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



FECHA : 8/V/81

FIGURA 5.2

RESUMEN DE DATOS DE LABORATORIO

REACTOR	VOLUMEN V (lt.)	DBO (mg/lt)		SSVLM. X <sub>v</sub> a mg / lt	Q lt./día	CONSUMO O <sub>2</sub> mg.O <sub>2</sub> /ltxd.	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

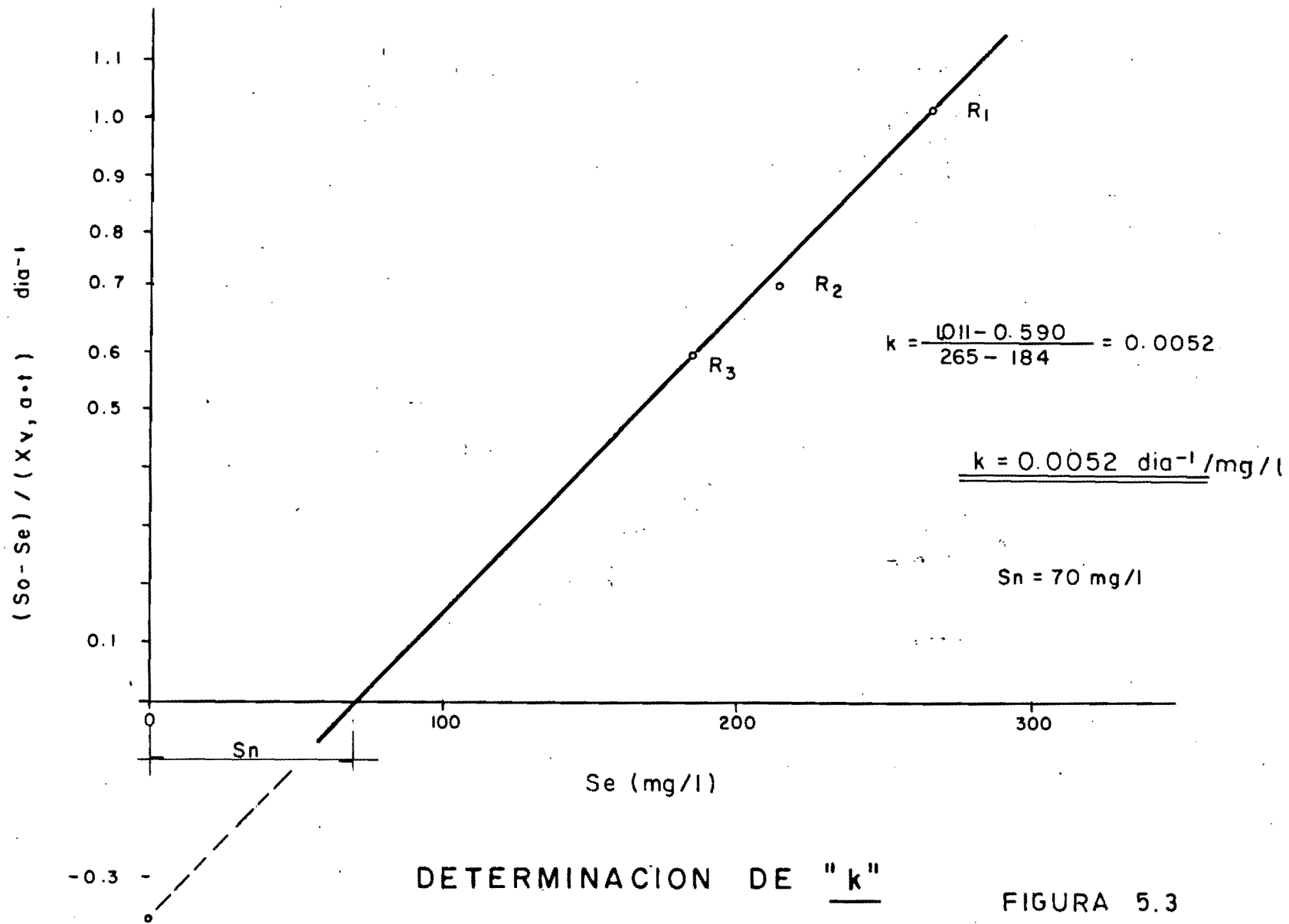
CUADRO 5.6

CONSTANTE DE REMOCION

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

CUADRO 5.7

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



DETERMINACION DE "k"

FIGURA 5.3

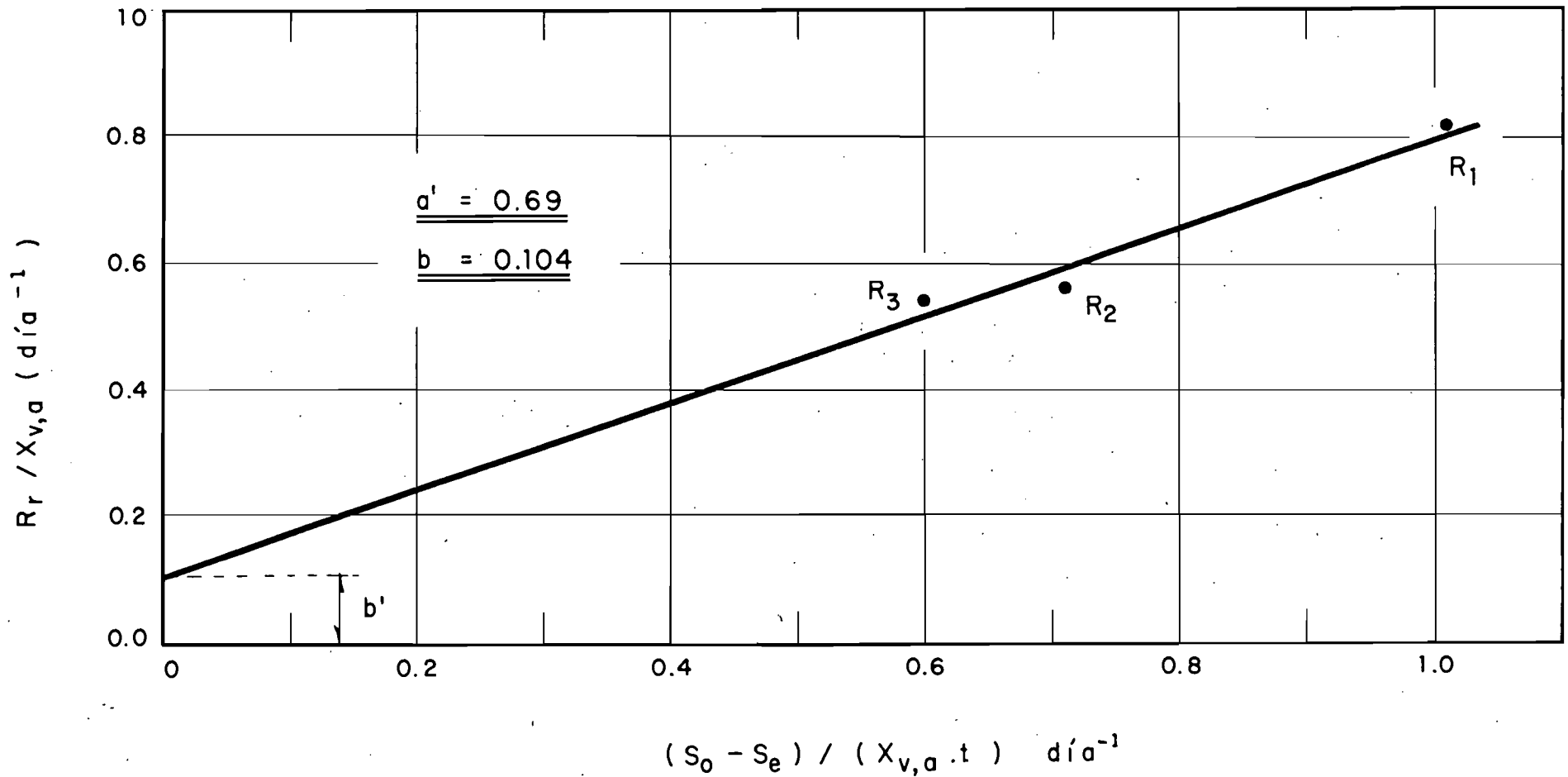
CONSTANTES DE UTILIZACIÓN DE OXIGENO

( 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

CUÁDRO 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)

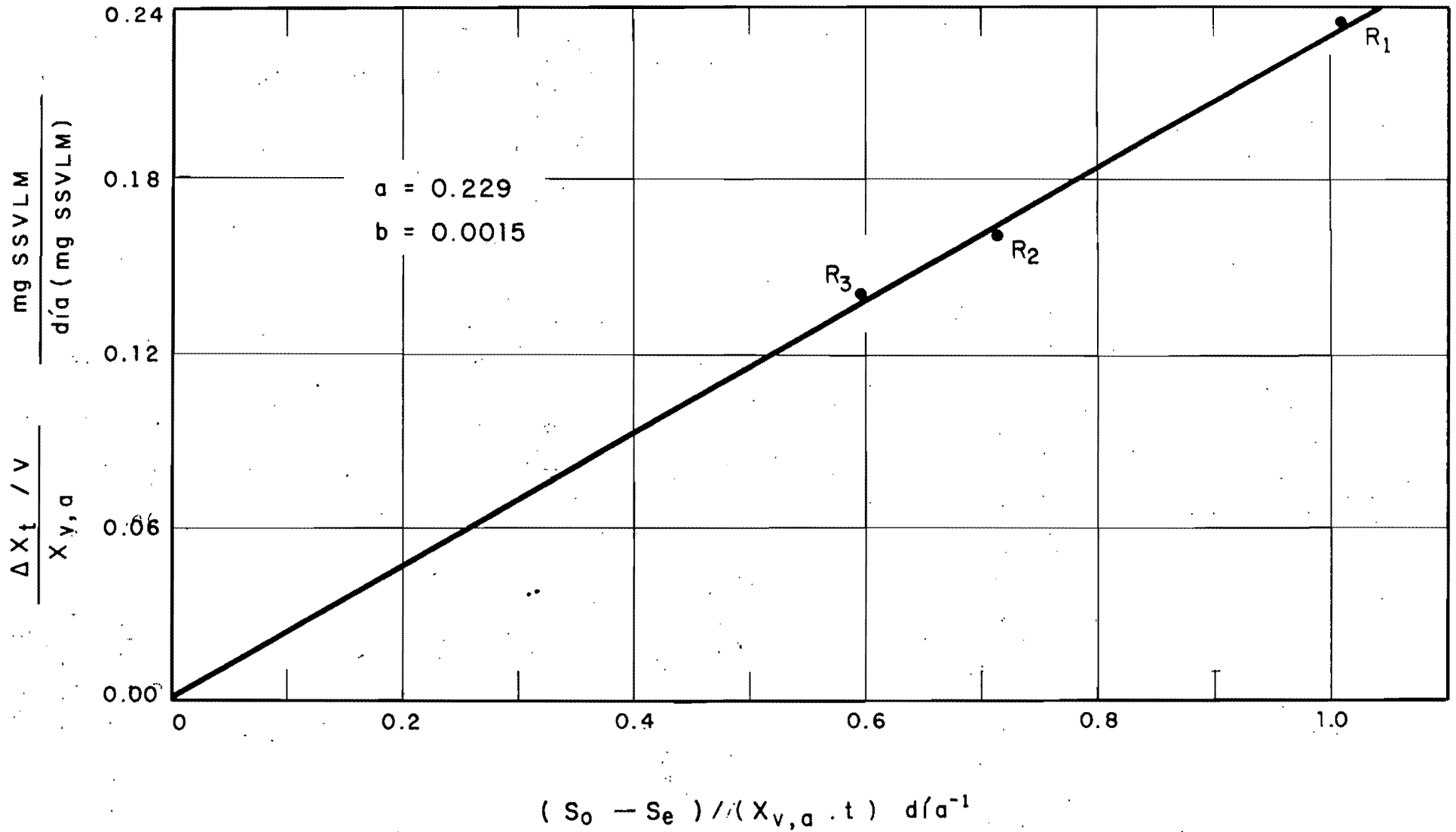
FIGURA 5.4

PARAMETROS DE PRODUCCION DE LODOS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
REACTOR	$\Delta X_t / V$ mgSS/lxd	$X_{v,a}$ mg/l	$\frac{\Delta X_t / V}{X_{v,a}}$ $\frac{\text{mgSSVLM}}{(\text{dia})(\text{mgSSV})}$	$\frac{S_0 - S_e}{X_{v,a} \cdot t}$ 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

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



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 8	0.075
b'	0.104	0.07	0.106

CUADRO 5.10

tenidos dentro del reactor, que es la concentración de grasas en los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado (SSVLM). Con estos valores también se ha determinado el porcentaje de remoción de grasas y aceites ocasionados en el reactor.

De los resultados se desprende, que 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.

#### V.2.2. CINÉTICA DEL PROCESO DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES.

Como se desconocía el orden de reacción 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 ajustara 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.

VARIACION TOTAL DE GRASAS DENTRO DEL REACTOR = MASA QUE ENTRA - MASA QUE SALE + VELOCIDAD DE TRANSFORMACION DE GRASAS.

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

Velocidad de reacción:

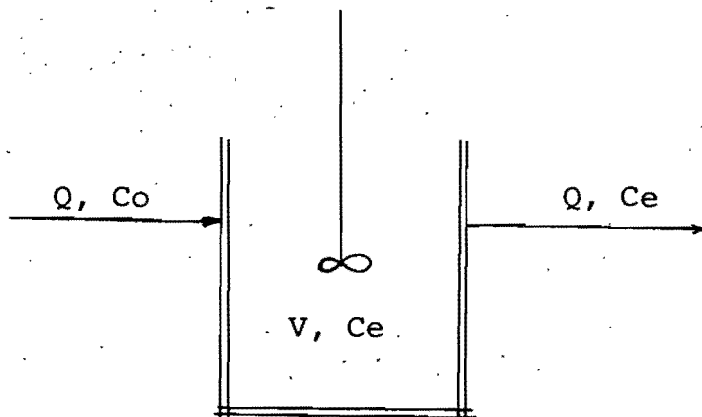
$$r = \frac{dC_e}{dt}$$

$C_o$  = Concentración influente de grasas.

$C_e$  = Concentración efluente de grasas.

$V$  = Volumen del reactor.

$Q$  = Caudal.



En estado de equilibrio, la acumulación es cero:

$$Q C_o - Q C_e + V_r (C_e) = 0$$

Reacomodando:

$$Q C_e = Q C_o + V_r (C_e)$$

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

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

Considerando como variables de control  $C_o$ ,  $V$  y  $Q$ , y a  $C_e$  como variable medible, la cual se puede despejar de la ecuación anterior y obtener el orden de reacción  $r_{Ce}$  se tiene:

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

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

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

La gráfica de  $r C_e$  con relación a  $C_e$  puede proporcionar una recta si la reacción es de primer orden; y su pendiente  $r$  será la constante de velocidad de reacción.

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, y se muestra en la figura 5.6.

En la gráfica 5.6 se consideró lo siguiente:

- 1.- Que los datos del reactor como se aprecia, se alinean dando una recta, lo que demuestra que la reacción de remoción de grasas y aceites, cinéticamente es de primer orden.
- 2.- Los reactores 2 y 3 en los cuales se tienen únicamente dos puntos, se asimilaron a rectas que enlazan estos puntos.
- 3.- Las constantes de velocidad de reacción obtenidas de la gráfica son:

REACTOR

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

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

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



### V.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 encontrar alguna relación entre la remoción total en porcentaje de grasas con los sólidos volátiles del licor mezclado en el reactor, además con el tiempo de retención, y con la relación masa de microorganismos-alimento.

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

Analizando estas dos gráficas, se observa en la primera que no existe relación alguna con estos parámetros, pero en la segunda gráfica existe una relación con los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado (SSVLM)  $X_{V,a}$ , demostrando que la sedimentación influye directamente en la remoción total de las grasas y aceites, confirmando la adsorción existente.

Además se observa claramente en la 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 el proceso de respiración endógena que es el caso que presenta el reactor número 3 mencionado anteriormente.

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 = $\frac{V}{Q}$ día	$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{X_{v,a} \cdot t}$ mg DBO <sub>5</sub> mgSSVLM·d
	Co mg/l	Ce mg/l	% remoc.	Co mg/l	Ce mg/l	% remoc.			
1	200	22.5	91.96	200	100	35.71	1900	0.512	1272
	200	15	94.64	200	00	71.43			
	200	40	85.71	200	75	73.21			
	200	65	76.79	200	212	24.29			
	PROMEDIO		87.27	PROMEDIO		51.16			
2	246	15	93.90	246	227	7.72	1017	0.701	0.077
	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

# DETERMINACION DEL ORDEN DE REACCION

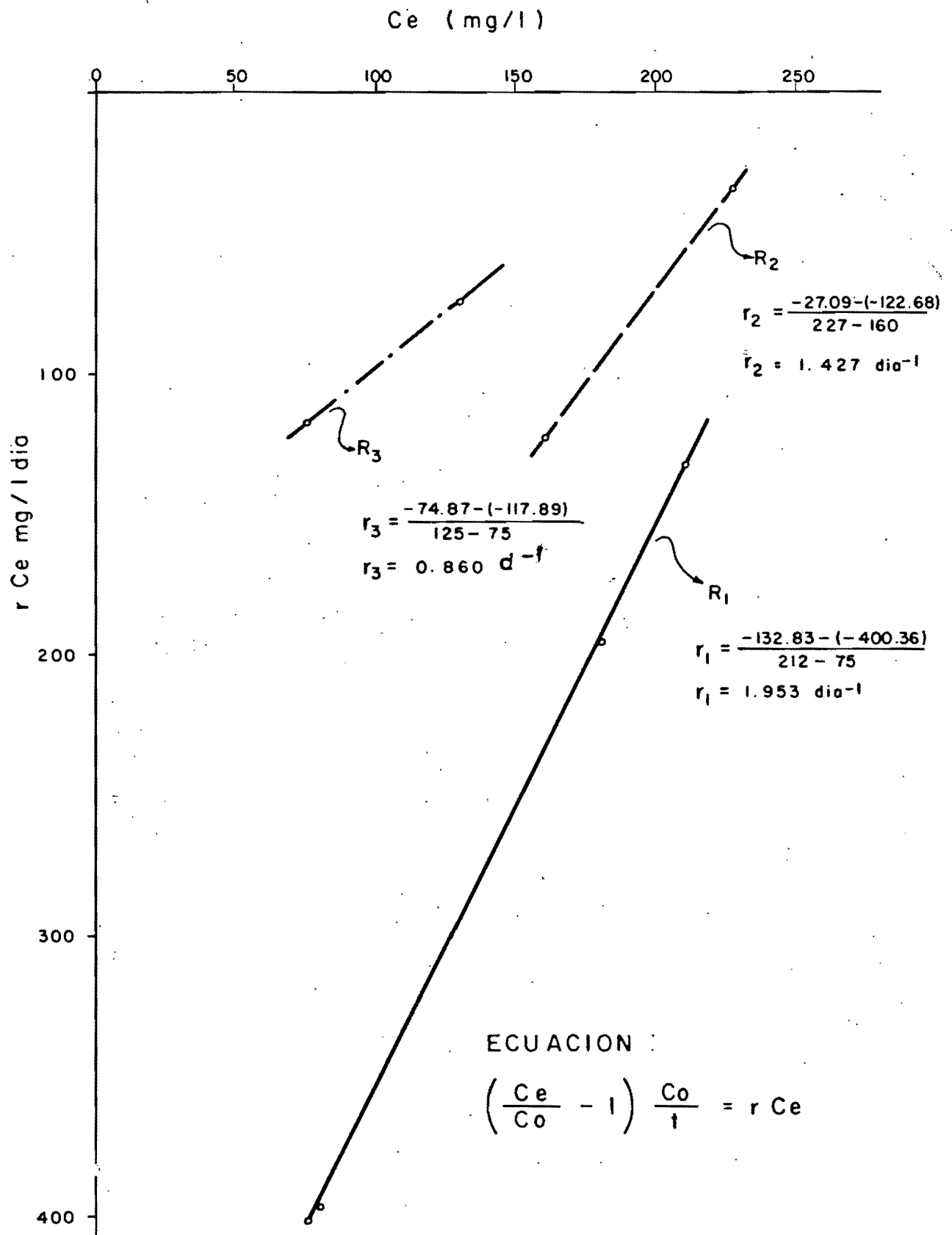
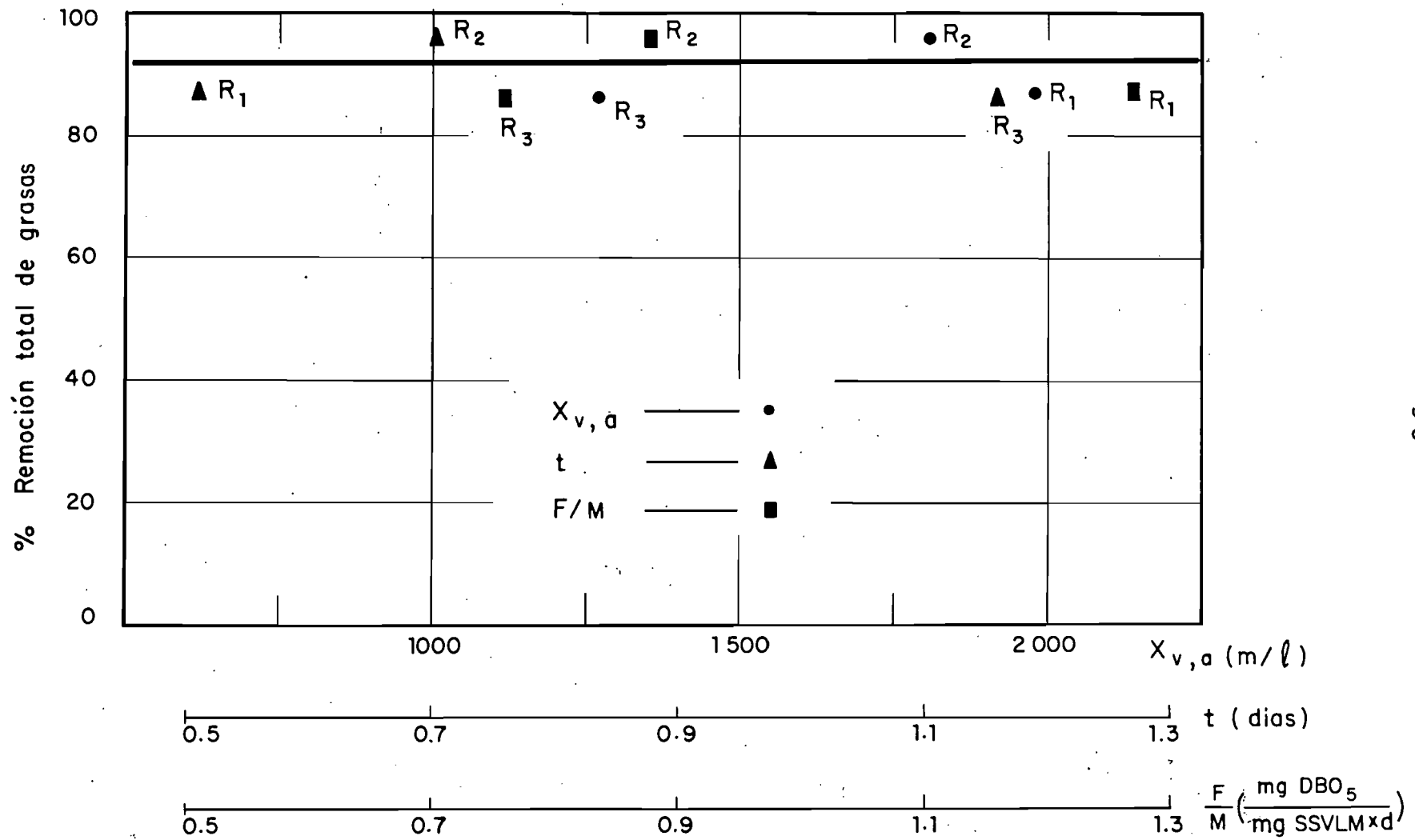
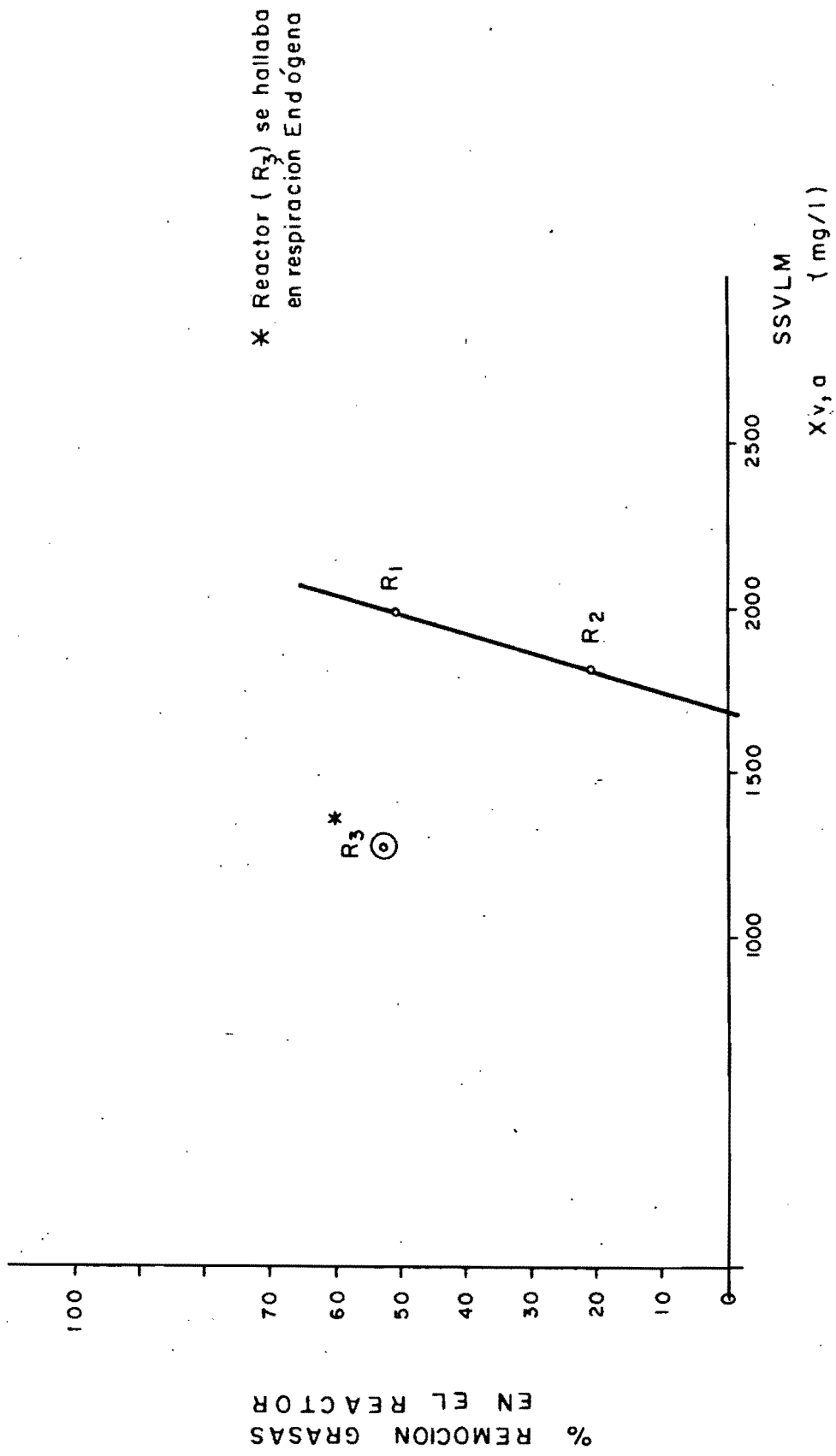


FIGURA 5.6



Relación de parámetros con la remoción total de grasas

FIGURA 5.7



FIGUR 5.6

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1. CONCLUSIONES

#### VI.1.1. REFERENTE A CONSTANTES DEL SUSTRATO

1.- 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 "Nesbrun", que para el sustrato de leche descremada "Nesbrun", 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.

2.- 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 adsorbe por parte de los lodos.

3.- Es posible que el proceso de nitrificación se presente puesto que el tiempo de retención es un poco grande y por que se observaron al microscopio gran cantidad de burbujas, lo más probable de nitrógeno, dificultando con ello la sedimentación.

### VI.1.2. REFERENTE A GRASAS Y ACEITES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

- 1.- En lo que se refiere al orden de reacción de remoción de grasas y aceites; se obtuvo que la remoción en el proceso de lodos activados, reactor de flujo continuo, es de primer orden.
- 2.- El análisis de las gráficas en las que se relacionan el porcentaje de remoción de grasas y aceites 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.- Al analizar la gráfica del porcentaje de remoción de grasas en el reactor con la concentración de SSVLM en el reactor, se observa que el porcentaje de remoción (eficiencia) es mayor, cuanto mayor es la concentración de SSVLM .

También se puede ver en esta misma gráfica que el reactor número 3, que se encontraba en el proceso de respiración endógena cuando se realizaron las pruebas, que el porcentaje de remoción fue tan alto como en el reactor número 1, que era el de mayor concentración de SSVLM. De aquí se desprende que el proceso de 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, como las 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 3 se debe a la biodegradación, ya que en este reactor no se tiraron grasas por ningún otro medio.
- 6.- Las constantes de remoción en los reactores 1 y 2, no se pueden considerar como de biodegradación totalmente, porque en éstos, se tiraron lodos periódicamente para mantener la concentración de SSVLM en el reactor, y como hemos concluido se remueve grasas por adsorción en los lodos, y junto con éstos se tiraban grasas. Razón por la que las constantes de remoción son mayores.

## VI.2. RECOMENDACIONES.

En el presente trabajo de investigación se tuvieron algunas limitaciones como el tiempo, personal de trabajo y de equipo, además el tiempo requerido para las pruebas principalmente la determinación de grasas y aceites fué reducido, por lo que se recomienda:

- 1.- Ampliar la obtención de datos referentes al proceso de 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.- Se recomienda además que en estudios posteriores se trabaje por lo menos con cuatro reactores de este tipo, celdas de Eckenfelder, trabajando simultáneamente para obtener una relación de varios valores con diferentes parámetros de operación para correlacionarlos entre si, en lo que se refiere en especial al proceso de aireación extendida.
- 3.- Se recomienda también que se lleven estos valores obtenidos, a modelos de cobro de grasas y aceites, elaborados para plantas de tratamiento, como se mencionó en los antecedentes, para observar que resultados se obtienen.

- 4.- Se recomienda que se estudie el límite de tolerancia de los reactores, lo cual no se determinó en este caso, o sea cual es la dosificación máxima de grasas y aceites, que pueda soportar el proceso antes de que se produzca una descomposición.
- 5.- Determinar la 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.
- 6.- Se recomienda organizar el estudio con un diseño experimental, aunque sea muy simple, para poder saber cuantos reactores utilizar y cada cuando -- realizar los análisis, etc.

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 sobreponiéndole 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 perlititas 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 mantó 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.

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

- 1.- METCALF AND EDDY, INC. Wastewater Engineering Collection. Treatment Disposal. Mc. Graw Hill Book Company, New York, 1972
- 2.- RAMALHO R.S. Introduction to Wastewater treatment - Proces. Academic Press, New York, 1977.
- 3.- DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE TRATABILIDAD DE UNA - SUSPENSION DE LECHE DESCREMADA (Nesbrun). Héctor Luzuria ga M., DEPMI, UNAM, 1981.
- 4.- WALTER J. WEBER, Jr. Control de la Calidad del Agua. - Procesos Fisicoquímicos. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, España. 1979.
- 5.- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 13 a. ed. 1972
- 6.- ED. F. DEGERING - ORGANIC CHEMISTRY - Barnes & Noble, - Inc., New York, 1962.
- 7.- JOURNAL WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Removal of Grease and oil by Biological Treatment Processes, 1979. James C. Young. Iowa State University. Ames.