

TESIS CON
FOLIAS DE ORIGEN

2eja 2



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

**Evaluación del Proceso de la Planta Tratadora
de Aguas Residuales Cd. Deportiva**

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a

JOSE LUIS ARCIGA PEREZ

Directora: Q. María Luisa Arias Mendoza

Coasesor: I. Q. Hugo Alberto Sorchini Patiño



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

CAPITULOS	PAG.
1. Introducción -----	7
2. Procesos de lodos activados	
2.1 Antecedentes -----	9
2.2 Principio de funcionamiento -----	10
2.3 Parámetros de diseño, operación y control -----	13
2.4 Cinética -----	15
2.5 Factores que influyen en el proceso -----	17
2.6 Variantes principales -----	19
3. Características FQB del influente -----	
3.1 Colectores de alimentación -----	21
3.2 Zonas industriales circunvecinas -----	22
3.3 Programa de monitoreo -----	24
3.4 Discusión de resultados -----	25
3.5 Conclusiones -----	26
4. Evaluación del proceso de tratamiento de la planta Cd. Deportiva	
4.1 Descripción de la planta -----	30
4.2 Diagnostico del estado actual de la planta de tratamiento -	31
4.3 Descripción del modelo físico -----	32
4.4 Diseño experimental -----	33
4.4.1 Elección del sitio de abastecimiento del agua a tra-	
tar	
4.4.2 Programa de muestreo	
4.4.3 Formatos de captura de información	
4.4.4 Condiciones propuestas para arranque de proceso	
4.4.5 Control de proceso	
4.4.6 Obtención de condiciones estables	
4.4.7 Procesamiento de datos experimentales	
4.4.8 Obtención de parámetros de diseño	
4.4.9 Bases de diseño y escalamiento	
4.5 Procesamiento de información -----	39
5. Discusión de resultados	

5.1 Comparación de parámetros de diseño obtenidos con los re-	
ales -----	48
5.2 Políticas de operación -----	48
6. Conclusiones y recomendaciones -----	62
Anexo # 1 -----	64
Anexo # 2 -----	73
Anexo # 3 -----	79
Bibliografía -----	88

1. INTRODUCCION

Uno de los problemas más graves que afronta el D.F. es el suministro de agua potable cuya demanda es cada vez mayor, por lo que se deben de buscar medios para satisfacer el suministro.

Las alternativas para amortizar este problema son:

- a) Importación de cuencas externas
- b) Optimizar el uso del agua
- c) Aprovechar el agua residual (previo tratamiento)

La primera opción es explotar nuevas fuentes naturales, que presentan el inconveniente de encontrarse cada vez más lejos; actualmente el río Cutzamala es uno de los abastecedores de agua al D.F. y para un futuro se contará con los ríos Tecolutla y Amacuzac. La segunda opción plantea hacer buen uso del agua, lo que se lograría mediante programas para la detección y corrección de fugas y concientizando a los usuarios del ahorro de este recurso.

La tercera alternativa serviría de apoyo a las anteriores; en ellas se requiere de una planeación cuidadosa y para ello el gobierno del D.F. estructuró el Plan Maestro de Tratamiento y Reuso (PMTR) teniendo como objetivo central promover paulatinamente la sustitución de agua potable por renovada en función de la tecnología disponible para tratamientos secundarios ó avanzados.

Desde 1956 el Departamento del Distrito Federal inició el reuso del agua operando la planta de tratamiento de aguas residuales - "Chapultepec"; actualmente cuenta con un total de 9 instalaciones -- con una capacidad conjunta de $4.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y se tiene una infraestructura aproximada de 500 km. de red de distribución de agua renovada, que se utiliza para el riego de áreas verdes y llenado de lagos.

Cabe mencionar el hecho de que la demanda de agua renovada no es constante a lo largo del año, considerando las épocas de lluvia y estiaje, ya que se presentan reducciones significativas en época de lluvias, esto además del hecho de que, estacionalmente, existen variaciones en la calidad PQB del influente, implica que se deban generar políticas de operación y producción acordes a estas variaciones para

garantizar la confiabilidad en la calidad del agua generada; la variación en la demanda es la causa principal de que los sistemas de tratamiento no operen a su capacidad de diseño, pero además deben anotarse estos otros factores:

- Hundimientos en las estructuras
- Deficiencias en las condiciones físicas y operativas de los equipos

El presente estudio pretende aportar una alternativa de solución basada en el uso de un modelo físico de simulación del proceso a partir del cual pueden generarse políticas de operación acordes a las necesidades de cada planta de tratamiento para lo que es necesario realizar pruebas de tratabilidad del agua residual influente.

El modelo físico utilizado para el presente estudio fue el recomendado en un estudio realizado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal el cual se caracteriza por su flexibilidad para simular distintos procesos de tratamiento biológicos (Ref. 1).

La confiabilidad de los efluentes, tanto en cantidad y calidad, permitirá en un futuro próximo, considerar la factibilidad de uso de agua residual tratada en actividades industriales tales como enfriamiento, servicios generales, producción de vapor y algunos procesos, situación que permitiría contribuir a rescatar volúmenes importantes de agua potable actualmente destinada a los usos mencionados. Por esta razón el presente trabajo se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales "Ciudad Deportiva" dada su vecindad con una zona industrial que puede ser enfocada como un usuario potencial.

2. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

2.1 ANTECEDENTES.

En la Ciudad de México es válido definir como aguas residuales al conjunto de descargas líquidas hechas en el sistema de drenaje y que pueden provenir tanto de las aguas precipitaciones pluviales, como de las aguas de abastecimiento que tras haber sido utilizadas en casa habitación, comerciales, industrias o servicios públicos, han perdido las características que las hacían potables. Como puede comprobarse fácilmente, este origen múltiple implica la existencia de grandes variaciones tanto en el caudal como en la composición, lo que tiene como consecuencia, que su tratamiento se vuelva cada vez más complejo.

Para llevar a cabo la depuración de estas aguas existen diversos procesos de tratamientos como son: Láguna de estabilización, Físicoquímico, Filtros percoladores, Biodiscos, Digestión, Electrolisis y lodos activados. Este último es el utilizado por 8 de las 9 Plantas de Tratamientos pertenecientes a la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

El proceso original de lodos activados se desarrolló por primera vez en Inglaterra en 1914.

Los niveles de tratamiento que conforman este proceso son:

- a) Tratamiento preliminar
- b) Tratamiento primario
- c) Tratamiento secundario
- d) Tratamiento avanzado

a) Tratamiento preliminar:

El propósito del tratamiento preliminar es separar de las aguas residuales los sólidos grandes que pudieran obstruir o dañar los equipos de bombeo, o bien, afectar el proceso de tratamiento.

b) Tratamiento Primario:

Su propósito es la separación de los sólidos sedimentables, así como grasas, aceites y material flotante que se encuentra en el agua que se va a tratar.

c) Tratamiento Secundario:

Su propósito es proveer los requerimientos de oxígeno, nutrientes y las condiciones ambientales adecuadas para que los microorganismos existentes en el tanque de aeración degraden la materia orgánica y posteriormente efectúen la separación de los lodos activados en el licor mezclado, produciendo un efluente clarificado; para ello cada unidad de tratamiento dispone de cinco elementos principales; - tanque de aeración, sopladores, sistemas de aspersión para rompimiento de espuma, tanque de sedimentación secundaria y el sistema de recirculación de lodos.

d) Tratamiento avanzado.

El propósito de la desinfección es la eliminación de la mayor cantidad posible de bacterias que no formaron Flóculo durante el proceso de lodos activados y que puede ser dañinas para el hombre. Esto se logra adicionando una solución de cloro al efluente del sedimentador secundario.

La planta de tratamiento de aguas residuales "Ciudad Deportiva" ha sido diseñada para alcanzar el nivel del tratamiento secundario, mediante el proceso convencional de lodos activados, tal tratamiento incluye, además, desinfección del efluente mediante cloración.

Por esta razón esta sección se restringe a dichos procesos y sus características.

2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En las aguas residuales se encuentran microorganismos que utilizan la materia orgánica muerta como alimento, para desarrollar sus funciones vitales, en lo que se refiere a crecimiento y reproducción.

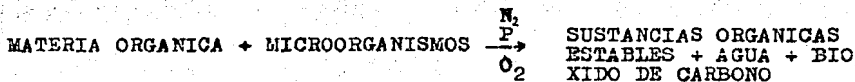
Esta materia constituida por compuestos orgánicos complejos, es reducida ó degradada dando como productos finales, bióxido de carbono y agua.

Este es el principio básico del proceso de lodos activados, puesto que al poner en contacto una cantidad dada de microorganismos para dicho propósito, como agua residual, estando presentes oxígeno

y nutrientes en cantidades adecuadas, la materia orgánica al igual - que otros compuestos se transforman en otros más simples, haciendo - que las aguas se depuren parcialmente.

Esto significa que el mecanismo de depuración de las aguas resi- duales por medio del proceso convencional de lodos activados consis- te en la biodegradación aerobia de una parte de la materia orgánica contenida en ella, siendo utilizada por los microorganismos como ali- mento, dando como resultado productos orgánicos estables.

En la siguiente ecuación se describe el proceso:



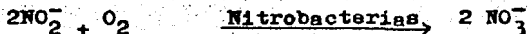
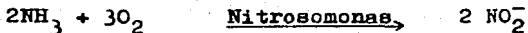
Se puede observar que los microorganismos degradan la materia - orgánica por medio de la oxidación, dando como resultado en este pa- so la producción de agua, bióxido de carbono, sustancias orgánicas - estables y energía, esta última es aprovechada por los microorganis- mos para generar nuevas células por síntesis, siendo estas transfor- madas después de terminar su ciclo vital en bióxido de carbono y agua.

Es posible llevar a cabo dicho proceso si la estructura de los compuestos por degradar son biodegradables. También hay que tener en cuenta que mediante la aclimatación adecuada de los microorganismos se puede producir la degradación de sustancias cuya biodegradabilidad en teoría es muy baja o aún en el caso de que sean sustancias direc- tamente tóxicas.

Por lo general existe una gran variedad de compuestos existentes en las aguas residuales provenientes de descargas industriales, por lo que no se debe de fundamentar el tratamiento y control de calidad mediante solo la medición del DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) - puesto que esta no es precisa sobre todo cuando se tienen materiales tóxicos que afectan la biodegradación como ya se dijo. Entonces re- sulta importante la determinación y localización de las principales descargas de tipo industrial que llegan a la planta, para evitar un

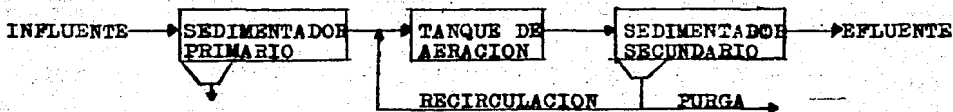
deterioro en la calidad o bien la presencia de sustancias tóxicas.

Además de la materia orgánica carbonácea, es necesario también estabilizar materia nitrogenosa que demanda oxígeno, como lo es el amoniaco (NH_3) y el nitrógeno orgánico libre. La estabilización denominada nitrificación, se realiza según las siguientes reacciones:



Para que se lleve a cabo la nitrificación se requieren tiempos de retención celular (θ_c) de más de diez días. En la evaluación del funcionamiento del proceso para la selección de valores de parámetros de operación optimos se tienen que considerar también los requerimientos de nitrificación puesto que dependiendo del grado en que se lleva a cabo esta, influye en la calidad de los lodos activados que se formen.

Realmente el proceso de lodos activados, en su acepción más sencilla, solamente acelera los procesos biológicos naturales de purificación del agua reduciendo el espacio necesario y controlan las variables que intervienen el proceso; se esquematizan de la siguiente forma:



En este proceso es básica la existencia de un tanque de aeración que se utiliza con el doble propósito de proveer oxígeno a los microorganismos y de tener una agitación en todo el contenido del tanque, denominándosele a esto el licor mezclado; asimismo se forman agrupaciones de materia orgánica y microorganismos de apariencia esponjosa y color pardo, siendo esto los floculos o lodos activados.

El licor mezclado se conduce al sedimentador secundario y aquí los lodos son separados por gravedad, el agua ya clarificada es enviada por canaletas a tratamientos subsecuentes mientras que los -- flóculos o lodos activados, son colectados en las tolvas del sedimentador, dividiéndolos en dos partes (no necesariamente iguales) una -- que se retorna al tanque de aeración y la otra es desechada. La purga y el retorno de lodos, permiten que haya una concentración de microorganismos adecuada en el tanque de aeración.

2.3 PARAMETROS DE DISEÑO, OPERACION Y CONTROL.

Al diseñarse una planta, el proyectista, se debe basar en ciertos valores recomendados para algunas características de la planta, un ejemplo sería: se establece que el tiempo de retención del proceso de lodos activados de tipo convencional esta entre 4 y 8 horas. -- siendo este el caso en el que el proyectista dimensiona el tanque de geración cumpliendo este requisito. A estas características se les -- llaman parámetros y son dictados tanto por experimentación que como por la experiencia operacional.

Al ser construida una planta y alcanzado el nivel operativo, dichos parámetros son utilizados para evaluar el funcionamiento y algunos de ellos para controlar la operación.

A continuación se definen algunos de los parámetros existentes:

Parámetros de diseño:

- a) Tiempo de retención hidráulico (Θ_h): es el tiempo en horas -- que transcurre entre la entrada del agua a un tanque o depósito de este y su salida.
- b) Carga orgánica volumétrica: es la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico de agua residual tratada por -- unidad de tiempo. Es representada indirectamente por la concentración de DBO ó DQO.
- c) Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM): es una medida indirecta de la cantidad de microorganismos ac -- tivos existentes en un momento dado en el tanque de aeración.

- d) Relación alimento-microorganismo (F/M). Expresa la relación que - existe entre la cantidad de materia orgánica aplicada como alimento en el tanque de aeración por día y la cantidad de microorganismos existentes.
- e) Tiempo medio de retención celular (θ_c ó TMRC): El tiempo promedio en días que un microorganismo permanecerá en el proceso de tratamiento secundario.
- f) Tasa de recirculación (r): indica la proporción del caudal influente que es retornado al tanque de aeración.
- g) Caudal del influente (Q_i); Se refiere a la cantidad en l/s que ingresa a una unidad de tratamiento.
- h) Caudal de recirculación (Q_r): Cantidad de licor mezclado en l/s - que se retornan al tanque de aeración.
- i) Caudal de purga (Q_p): Cantidad de licor mezclado en l/s que se desecha del sistema.

Parámetros de control.

- a) Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM)
- b) Relación alimento microorganismo (F/M)
- c) Tiempo medio de retención celular (TMRC ó θ_c)
- d) Índice volumétrico de lodo (IVL): Es el volumen en mililitros ocupados por un gramo de SSVLM sedimentado durante treinta minutos. Constituye un señalamiento de la tendencia al abultamiento de lodos.

Parámetros de operación.

- a) Caudal del influente (Q_i)

- b) Caudal de recirculación (Qr)
- c) Caudal de purga (Qp)
- d) Caudal de alimentación de agua
- e) Caudal de alimentación de aire.

2.4 CINÉTICA

El modelo utilizado para el cálculo de las constantes biocinéticas será el de Eckenfelder, por lo cual a continuación se describen los balances de materia mediante los cuales se obtienen las ecuaciones de dicho modelo.

Considerando el tanque de aeración como un reactor completamente mezclado, un balance de materia, en condiciones estables, conduce a la siguiente expresión:

$$QSo - QSe = \frac{dS}{dt} Va$$

donde:

- Q = Gasto de desecho que entra al tanque en vol/tiempo
- So = Materia orgánica en términos de DQO ó DBO; de la conveinación del influente con la recirculación en masa/vol.
- Se = Materia orgánica en términos de DQO ó DBO; del efluente en masa/vol.
- ta = Tiempo de aeración en m³/día
- Va = Volumen del tanque de aeración en m³

Considerando que $dS/dt = KXaSe$ es una función de sustrato remanente de acuerdo a una reacción cinética de primer orden, se tiene la relación:

$$\frac{So - Se}{Xata} = KSe$$

donde:

- K = Tasa de remoción en tiempo

$X_e = \text{SSVM en masa/vol.}$

La ecuación que relaciona los requerimientos de oxígeno para la remoción biológica y la respiración endógena es:

$$R_{E}V_a = a'SrQ - b'X_eV_a$$

donde:

- R_r = Tasa de utilización de oxígeno por día
 a' = Fracción de sustrato, DQO ó DBO, usado para oxidación en tiempo
 b' = Fracción por día SSV, oxidados (base oxígeno).

$$S_r = S_o S_e$$

La acumulación del lodo en el sistema por la oxidación del desecho se puede estimar a partir de los siguiente componentes:

- Incremento en lodos debido a los sólidos suspendidos en el efluente: QX_o .
- Incremento de lodos debido a la síntesis celular: $aSrQ$
- Decremento en lodo debido a la oxidación celular, o a la respiración endógena; $b'X_eV_a$.
- Decremento en lodo debido a pérdidas de sólidos suspendidos en el efluente: QX_e .

Esta expresión es:

$$\Delta X = QX_o + aSrQ - b'X_eV_a - QX_e$$

donde:

- ΔX = Producción del lodo por día
 a = Fracción de sustrato, DBO ó DQO; convertido en nuevas células
 b = Fracción por día de SSV oxidados (base de lodo)
 X_o = Sólidos suspendidos del influente en masa/vol
 X_e = Sólidos suspendidos del efluente en masa/vol.

Expresiones que sirvan de base para el diseño experimental (sec.4.4)

2.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

Requerimientos de oxígeno; este elemento es necesario, para que cumplan los microorganismos sus funciones vitales, denominados aerobios por esta razón. Este suministro de oxígeno se puede hacer mediante dos formas: difusión de aire comprimido o bien aeración mecánica superficial; la cantidad de aire requerido depende fundamentalmente de los factores siguientes:

- Carga orgánica aplicada
- Cantidad y calidad de los lodos activados

En cualquiera de los casos se acepta que la cantidad de aire suministrado deberá ser tal que permita tener un valor mínimo de 2 mg/l de oxígeno disueltos, para cualquier valor de la carga orgánica y en cualquier punto del tanque de aeración menos en las inmediaciones de la entrada de alimentación, donde por razones naturales la demanda -ejercida es mayor por el ingreso de la recirculación. (ref. 2)

Requerimientos de nutrientes: en las reacciones biológicas que se llevan a cabo para la síntesis de nuevas células, se necesitan elementos químicos como carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, fundamentalmente, con pequeñas cantidades de fósforo, azufre, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro y molibdeno; estos elementos se encuentran en su mayoría en las aguas residuales, existiendo en algunos casos deficiencias de fósforo y nitrógeno por lo que es necesario añadir estos elementos en los tratamientos biológicos. La respiración endógena hace su aparición cuando falta el alimento o sea la materia orgánica, lo cual supone una liberación de nitrógeno y fósforo que se utiliza entonces para la síntesis de nuevas células. Esto se puede equilibrar de tal forma que se controle el grado de síntesis y de respiración endógena, ocurrentes.

Retorno y purga de lodos: Siendo parámetros de operación también se puede incluir en esta sección, considerando que variando en magnitud ambos inciden en forma considerable en el comportamiento --

del proceso. La recirculación de los lodos que son colectados en las tolvas del sedimentador secundario permite regular el tiempo en que los microorganismos estan en contacto con la materia orgánica del -- agua residual.

El porcentaje o tasa de recirculación depende directamente de la cantidad y calidad de los lodos que se tengan en el tanque de aera-- ción.

Presencia de sustancias tóxicas y otros factores; no es muy raro o difícil que se encuentren contaminantes de esta naturaleza en -- las aguas residuales, lo cual complica más la situación debido a las interacciones con el agua o entre sí; en cambio se tiene que a mayor volumen de aguas residuales se permite una dilución de estos compues-- tos tóxicos, y cada vez resulta más frecuente que dichas concentra-- ciones de agentes tóxicos rebasan el límite que se considera permisible. Los agentes tóxicos más importantes son los desechos industria-- les, por ejemplo:

- a) Metales pesados
- b) Compuestos orgánicos sintéticos
- c) Sustancias radioactivas

El pH indica en forma simple el grado de acidez o alcalinidad -- que presenta una agua determinada; la mayoría de los microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica se desarrol-- llan en un valor óptimo de $\text{pH} = 7$ pudiendo sobrevivir sin grandes va-- riaciones entre 6.5 y 8.5 .

La temperatura influye directamente en la velocidad de degrada-- ción esto es que a mayor temperatura se incrementa la velocidad de -- reacción hasta un límite del orden de 40°C .

Influencia del comportamiento hidráulico. Este comportamiento -- ha demostrado ser de suma importancia, puesto que es el modo en que se realiza el tránsito del agua através de las diferentes unidades -- que integran el proceso, se ha demostrado que la existencia de proble-- mas hidráulicos se traducen en disminuciones apreciables en la efi-- ciencia de remoción de contaminantes.

En forma general, puede decirse que existen dos modos o patrones de flujo los cuales pueden ser completamente mezclado o bien flujo - pistón.

El completamente mezclado; su característica principal es que - la concentración del licor mezclado es igual en cualquier punto del tanque; las aguas residuales influentes son mezcladas rápidamente con el licor, de manera que hay poca cantidad de alimento disponible para una gran cantidad de microorganismos. El de flujo en pistón simi la una unidad de volúmen que viaja a velocidad constante, en tanto - que la demanda de alimento decrece a medida que avanza a lo largo -- del tanque.

2.6 VARIACIONES DEL PROCESO

Con la finalidad de conseguir mejoras técnicas y económicas en la operación y en algunos casos resolver ciertos problemas internos, se han introducido variantes respecto al proceso llamado convencional de lodos activados; dichas variantes consisten en la modificación de algunos parámetros de diseño, supresión de unidades, arreglos físicos etc. de los cuales se pueden mencionar dos clasificaciones fundamentales:

- De acuerdo a la carga de proceso
- De acuerdo al arreglo físico

DE ACUERDO A LA CARGA DEL PROCESO

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta tasa	No utiliza sedimentador <u>primario</u>	Altos costos; bajas eficiencias
Convencional	Altas eficiencias de biodegradación (DBO) requiere <u>espacios pequeños</u>	Sensibilidad a <u>variaciones de carga</u>
<u>Aeración Extensiva</u>	Baja sensibilidad a <u>variaciones de carga</u>	Requiere áreas <u>mayores</u>

VENTAJAS

ciones de disposición
de todos ya estabili-
zados.

DESVENTAJAS

res al convencioanl

DE ACUERDO AL ARREGLO FISICO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

Adición por pasos Disminución del -
 efecto de sobrecargas

Aeración gradual Iguala la canti--
 dad de aire suministrad
 do con el demandado.

Estabilización - Reduce el volumen
por contacto del tanque de aeración
 en un 50%

Disminuye la concentra--
ción de oxígeno al final
del tanque.

Baja la eficiencia de re-
moción.

3. CARACTERIZACION PQB DEL INFLUENTE.

3.1 COLECTORES DE ALIMENTACION.

La planta Ciudad Deportiva se ubica en la esquina sureste del cruce de la avenida Río Churubusco y Viaducto Piedad en la unidad de Ciudad Deportiva de la Magdalena Mixhuca. (fig. 1)

El agua influente a dicha planta se capta del colector Churubusco Poniente y se bombea a la planta desde un cárcamo húmedo localizado frente a la misma, dicho colector recibe aportaciones diversas, -tales como (fig 2):

- Colector Plutarco Elías Calles que, a su vez, recibe aportaciones de los siguientes colectores:
 - * Coyuya
 - * Azúcar
 - * Ejido Iztacalco Norte
 - * Viga Central
 - * Oriente 110
- Colector Miramontes
- Colector Canela
- Colector Tezontle Poniente
- Colector The
- Colector Recreo
- Colector Oriente 108
- Colector Tezontle Central
- Colector Iztapalapa I que además recibe aportaciones de los siguientes colectores.
 - * Toltecas
 - * Año de Juárez a su vez recibe de: Agricultores, Granjeros y - Campesinos.
 - * Avenida 5
 - * Ayuntamiento
 - * Morelos
 - * Rojo Gómez
 - * Colón

- * Aullaga
- * Mina

3.2 ZONAS INDUSTRIALES CIRCUNVECINAS.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Deportiva capta aguas procedentes del Colector Río Churubusco Poniente. La influencia industrial detectada para la planta de tratamiento esta constituida por las siguiente zonas (fig.2) ordenadas en función de su probable influencia sobre la alimentación a la planta Ciudad Deportiva:

- a) Granjas México
- b) Xicaltongo
- c) Granjas San Antonio
- d) Santa Isabel Industrial
- e) Progreso del Sur
- f) Cerro de la Estrella
- g) San Felipe

Descripción:

- a) Zona industrial Granjas México

Drena por el colector Canela $\varnothing = 1$ m descargando al colector Río Churubusco $\varnothing = 4$ m.

- b) Zona industrial Xicaltongo

Drena a los colectores Coyuya y Azúcar con diámetros de 0.7 m y 0.76 m respectivamente, ambos alimentan el Colector Flutarco -- ($\varnothing = 2.44$ m), el cual descarga al Colector Río Churubusco Poniente ($\varnothing = 4$ m).

- c) Zona Industrial Granjas San Antonio.

Drena principalmente por el Colector Istapalapa I $\varnothing = 1.52$ m. -- bifurcándose al Colector Río Churubusco Poniente $\varnothing = 4$ m y Río Churubusco Oriente = 7.57 m x 5.4 m.

Asimismo el Colector Istapalapa I recibe los afluentes de los siguientes colectores:

Toltecas $\varnothing = 0.6$ m
Año de Juárez $\varnothing = 2.3$ m
Avenida 5 $\varnothing = 1.82$ m

d) Zona Santa Isabel Industrial

Drena por los colectores Agricultores y Granjeros con diámetros de 0.76 y 0.60 m respectivamente hacia el Colector Año de Juárez $\varnothing = 1.83$ m el cual se une con el Colector Iztapalapa I $\varnothing = 1.52$ m bifurcando hacia los colectores Río Churubusco Oriente.

En esta zona, el Colector Iztapalapa I recibe también el caudal de los siguientes colectores:

Ayuntamiento $\varnothing = 0.60$ m
Morelos $\varnothing = 0.60$ m
Rojo Gómez $\varnothing = 1.07$ m

e) Zona Industrial Progreso del Sur

Drena por el colector Campesinos $\varnothing = 1$ m hacia el Colector Año de Juárez $\varnothing = 1.83$ m, el cual se une al Iztapalapa I que se bifurca en los colectores Churubusco Poniente y Oriente.

f) Zona Industrial Cerro de la Estrella

Drena principalmente en el Colector Iztapalapa I $\varnothing = 1.07$ m -- que se bifurca posteriormente en los colectores Río Churubusco Poniente y Oriente a su vez el colector Iztapalapa I recibe los caudales de los colectores Colón y Aullaga con diámetros de 0.60 m y 1.07 respectivamente.

g) Zona Industrial San Felipe

Se trata de la zona con menor incidencia industrial sobre la planta de tratamiento de Ciudad Deportiva debido a su situación geográfica, aportando una mínima porción de sus descargas por el ramal Mina $\varnothing = 0.76$ m hacia el Colector Iztapalapa I $\varnothing = 1.07$ m -- cuyo funcionamiento ha quedado explicado en los apartados anteriores.

El tipo de industrias predominantes en estas zonas son: Laminadoras hierro y acero, curtiduría, textiles y químicos inorgánicos.

Los contaminantes desechados por estas industrias son en su mayoría perjudiciales al sistema de tratamiento de lodos activados -- lo cual se refleja en la calidad del efluente; además de no removerse, muchos de ellos interfieren en el proceso disminuyendo su eficiencia (metales pesados, compuestos orgánicos sintéticos).

3.3 PROGRAMA DE MONITOREO

a) Para tener una caracterización aproximada del agua residual se consideran en el presente trabajo un total de 55 parámetros definidos como representativos de la calidad del agua residual por parte de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Ver tabla 1.

b) Frecuencia: Se realizaron 2 muestreos semanales de influente a la planta de Ciudad Deportiva durante todo el año.

c) Preservación:

Dado que el laboratorio esta a distancia del sitio de toma, los garrafones y frascos que contenían las muestras se colocaron en un recipiente con hielo.

d) Técnicas de muestreo:

1) Tipo de muestreo: El muestreo puede ser simple ó compuesto. El muestreo simple se realiza tomando la muestra una sola vez y en un sólo lugar.

2) Compuesta:

Se extrae muestra por volúmenes iguales a lo largo de todo el tanque a la misma altura.

En el muestreo de análisis bacteriológicos se introduce el frasco sin destapar dentro del recipiente donde se tiene la muestra, al tenerlo sumergido totalmente se destapa y se toma la muestra hasta $3/4$ partes del frasco tapándose antes de sacarla a la superficie.

Para grasas y aceites se utiliza un frasco de un litro; el -- cual se sumerge en posición horizontal, hasta la mitad del diámetro de la boca cuidando que solo se tome el sobrenadante.

e) Las técnicas utilizadas para la determinación de los parámetros sancionados en la Tabla No. 1 son los recomendados por el Standard Methods for the examination of water and wastewater 16 th -- Edition 1985" cuyos autores son: APHA, AWWA, WPCF.

3.4 DISCUSION DE RESULTADOS

En la tabla No. 1 se presenta la información clasificada en -- dos periodos, el de lluvias que comprende de Mayo a Octubre y el de estiaje Noviembre a Abril, dicha información fué procesada probabili -- ticamente al 50, 80 y 95% de las veces, presentándose únicamente -- los valores al 50%.

Las variaciones observadas en los dos periodos se muestran a -- continuación: la cantidad de materia orgánica en forma de DBO y -- DQO es mayor en la época de estiaje en un 43% con respecto a la de -- lluvias, la concentración de sólidos no sufre variaciones represen -- tativas para las dos épocas. La relación de nutrientes (DBO N-NH₃, P) en la época de estiaje es 100:9:4 y para lluvias 100:9:3 siendo -- adecuada para procesos biológicos (Ref. 2). Con respecto a metales -- pesados (Fe, Mg. y Hg) son mayores en un 67, 176 y 52% respectivamen -- te en estiaje con respecto a lluvias. El contenido de grasas y acei -- tes aumenta en un 125% de lluvias a estiaje. La cantidad de SAAM -- es mayor en un 5% en estiaje con respecto a lluvias.

Como se observa los valores mas criticos están dados en el -- periodo de estiaje. Se consideran como criterios de comparación a -- los valores de concentración que presenta el influente a la Planta -- Tratadora de Aguas Residuales Chapultepec, debido a que por su pro -- cedencia 100% doméstica esta libre de contaminantes industriales.

Con respecto a la carga orgánica en forma de DBO y DQO sobre -- pasó el criterio en un 36 y 53% respectivamente.

Con respecto a metales pesados solamente el fierro y manganeso

sobreopasan el criterio en un 350 y 28%. La materia orgánica biodegradable está determinada por la relación DBO /DQO teniendo un valor de 0.6 lo que significa que la mitad de la materia orgánica es biodegradable. Estos valores son lógicos, si tomamos en cuenta que el colector Churubusco Poniente tiene captaciones de los colectores de aguas residuales de procedencia industrial.

3.5 CONCLUSIONES

El agua influente a la Planta Cd. Deportiva se encuentra altamente contaminada observando concentraciones elevadas de carga orgánica, metales pesados, grasas y aceites y presenta variaciones en los períodos de lluvias y estiaje, siendo mayores las concentraciones en este último.

Para evaluar la respuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales y determinar así la mejor política de operación para cada condición de influente, se realizarán pruebas de tratabilidad en el modelo físico, el cual simula el proceso de la planta prototipo.

FIG. 1 LOCALIZACION DE LA PTAR CD. DEPORTIVA

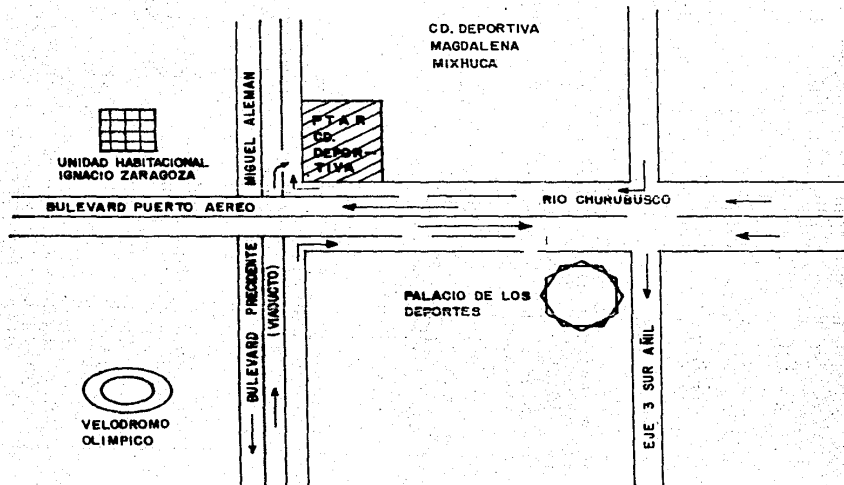
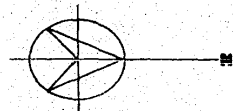
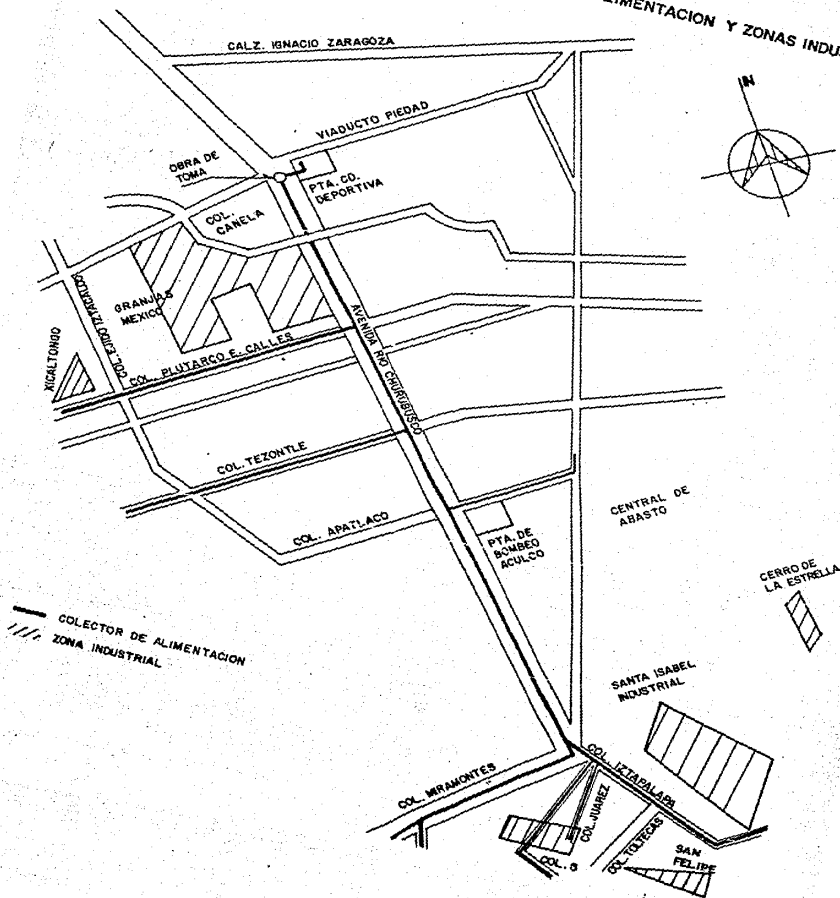


FIG. 2 LOCALIZACION DE LOS COLECTORES DE ALIMENTACION Y ZONAS INDUSTRIALES





Sección General de
Inspección y Operación Hidráulica



Sistema de Información
Calidad de Aguas Residuales y Pluviales

INFLUENTE 1985

CLAVE	PARAMETRO	UNIDADES	CHIAPULTEPEC		CD. DEPORTIVA	
			LLUVIA	ESTIATE	LLUVIA	ESTIATE
0101	PH		7.34	7.3	7.70	7.49
0102	COLOR	Pt/Co	125	186.3	130.0	59.77
0103	TURBIDEZ	UNT	87.7	76.3	51.2	59.77
0201	ALCAL. TOTAL	mg/l(CaCo ₃)	153.7	175.9	315.2	343.90
0202	ALCAL. & LA FENOLFTALEINA	mg/l(CaCo ₃)	---	---	10	10
0203	DUREZA TOTAL	mg/l(CaCo ₃)	125.1	95.13	110.15	190.06
0204	CARBONATOS	mg/l(CaCo ₃)	---	---	10	---
0205	BICARBONATOS	mg/l(CaCo ₃)	155.7	175.5	300.2	335.10
0206	HIDROXIDOS	mg/l	---	---	10	10
0207	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	umbols/cm	446.7	177.5	760.3	895.55
0208	CLORUROS	mg/l	32.3	22.1	84.3	69.96
0209	BOROS	mg/l	0.16	0.201	0.450	0.571
0301	SOL. TOTALES	mg/l	660	654.6	1040	1030
0302	SOL. TOTALES FIJOS	mg/l	515	320.5	715.5	627.88
0303	SOL. TOTALES VOLATILES	mg/l	147	334.1	324.5	402.12
0304	SOL. DISUELTOS TOTALES	mg/l	587	419.2	750	701
0305	SOL. DISUELTOS FIJOS	mg/l	373.3	277.3	530.9	636
0306	SOL. DISUELTOS VOLATILES	mg/l	198	142.3	170	120
0307	SOL. SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	217	282.5	286	387
0308	SOL. SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	45.5	74	92	122.55
0309	SOL. SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	171	208.5	188	264.11
0310	SOL. SEDIMENTABLES	mg/l	9.5	8.4	2.5	---
0501	NITROGENO AMONIAICAL	mg/l	12.57	15.3	17.5	15.74
0502	NITROGENO TOTAL	mg/l	22.0	27.2	33.7	28.5
0504	FOSFORO TOTAL	mg/l	9.8	14.5	1.3	7.41
0505	FOSFATOS TOTALES	mg/l	20.85	15.4	12.8	21.5
0601	CALCIO SOLUBLE	mg/l	17.2	15.4	30.2	35.35
0602	MAGNESIO SOLUBLE	mg/l	7.7	8.4	21.9	22.33
0603	SODIO SOLUBLE	mg/l	50.2	33.6	120.3	113.15
0604	POTASIO SOLUBLE	mg/l	13.4	12.1	20.8	23.11
0701	CALCIO TOTAL	mg/l	19.6	18.3	40.21	38.63
0702	MAGNESIO TOTAL	mg/l	8.04	8.1	25.2	23.18
0703	SODIO TOTAL	mg/l	50.4	34.1	105.2	110.82
0704	POTASIO TOTAL	mg/l	13.7	12.1	21.7	23.01
0801	FIERRO SOLUBLE	mg/l	0.107	0.047	1.11	0.93
0802	MANGANESO SOLUBLE	mg/l	0.54	0.043	1.27	1.10
0803	PLOMO SOLUBLE	mg/l	---	---	0.040	0.030
0804	CADMIUM SOLUBLE	mg/l	---	---	0.0062	0.005
0805	MERCURIO SOLUBLE	mg/l	---	---	5E-04	1.5E-04
0806	ARSENICO SOLUBLE	mg/l	---	---	1.2E-03	2.5E-05
0807	CROMO SOLUBLE	mg/l	---	---	---	0.070
0901	FIERRO TOTAL	mg/l	0.92	0.638	1.50	---
0902	MANGANESO TOTAL	mg/l	0.055	0.067	0.060	0.191
0903	PLOMO TOTAL	mg/l	0.05	0.01	0.031	0.040
0904	CADMIUM TOTAL	mg/l	0.0013	0.0013	0.0049	0.0062
0905	MERCURIO TOTAL	mg/l	4.7E-04	---	0.005	0.0076
0906	ARSENICO TOTAL	mg/l	5E-04	5E-04	0.120	---
0907	CROMO TOTAL	mg/l	---	---	---	3.9E-03
1002	COLIFORMES TOTALES	N.M.P./100ml	5.6E-07	0.4E+07	6.2E+7	81.5E+6
1101	D.B.O. ₅ TOTAL	mg/l	176	131.4	164.8	178.5
1102	D.B.O. ₅ SOLUBLE	mg/l	69.4	93.4	95	159
1103	D.O.O. TOTAL	mg/l	470	505	351	675
1104	D.O.O. SOLUBLE	mg/l	166.7	150.5	205	209.6
1201	GRASAS Y ACEITES	mg/l	85.75	84.9	87.95	87.99
1301	S.A.A.M.	mg/l	15	15.2	37	3.88

Tabla No. 1 CARACTERIZACION FOB DEL AGUA INFLUENTE AL 50% DE PROBABILIDAD PARA LAS PLANTAS DE CHIAPULTEPEC Y CIUDAD DEPORTIVA.

4. EVALUACION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA CIUDAD DEPORTIVA.

4.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA

La planta de tratamiento de Cd. Deportiva consta de dos unidades que operan con la versión convencional del proceso de lodos -- activados con capacidad de 80 y 150 l/s.

El agua que se trata en esta planta procede del colector Churubusco Poniente y se bombea desde el cárcamo humedo localizado en el camellón de la Avenida Río Churubusco. Cada unidad se compone de un sedimentador primario, tanque de aeración, sedimentador secundario y desinfección. (Figura No. 3).

Los sedimentadores primarios son de flujo horizontal con remoción mecánica e hidráulica de lodos y desnate superficial, eliminando de esta forma sólidos sedimentables, grasas y aceites.

En los tanques de aeración se lleva a cabo el proceso de biodegradación de la materia orgánica y consta para la Unidad I de un tanque rectangular con aeración por aire comprimido, con difusores tabuladores perforados, en la Unidad II hay 2 tanques también son rectangulares y la aeración es la misma, se encuentran en paralelo, de esta forma se tendrá un mejor control y operación del mismo. El propósito de los tanques es proporcionar a los microorganismos las condiciones adecuadas para que realicen su metabolismo y degraden la materia orgánica.

Las Unidades de sedimentación secundaria son de flujo horizontal con remoción mecánica de lodos, semejante a las instalaciones en los primarios. En este paso se tiene como propósito la clarificación, mediante la sedimentación de lodos activados, los cuales -- pueden ser recirculados o purgados.

La desinfección se lleva a cabo en la Unidad I, mediante un tanque de contacto de cloro y para la Unidad II en el transcurso de una canaleta, teniendo como función la remoción de microorganismos

patógenos.

Para la recirculación de la Unidad II, cuenta con una caja partidora donde se junta el lodo recirculado con el efluente del primario, teniendo como función dividir una parte para la recirculación y la otra para purga.

Para determinar los parámetros de control de la planta, esta cuenta con un laboratorio con capacidad para realizar los siguientes parámetros: pH, Turbidez, DQO, SAAM, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos volátiles, grasas y aceites.

Para almacenar el agua tratada de las dos unidades, la planta cuenta con dos tanques de almacenamiento cuya capacidad es de 2,430 y 1,634 m³ para las Unidades II y I respectivamente.

Para el suministro de energía eléctrica, se cuenta con una subestación eléctrica localizada atrás de la caseta de vigilancia, consta de 3 transformadores de 100 KVA cada uno.

El edificio central consta de una planta cuya distribución es la siguiente:

- . Área de simulación del proceso.
- . Comedor
- . Sala de Cloración
- . Bodega
- . Sanitarios
- . Almacén
- . Sala de compresores
- . Sala de tablero

4.2 DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO OD. DEPORTIVA

La planta carece de sistema de canaletas desarenadoras y rejillas, así como un medidor de flujo que indique el caudal influente.

Sedimentación Primaria: Unidad I y II. Las rastras siempre --
trabajan inundadas disminuyendo su eficiencia de funcionamiento en
relación de materia flotante, grasas y aceites.

Tanque de Aeración Unidad I y II:

Existen zonas donde el caudal de aire no es uniforme, por lo
tanto no existe un mezclado homogéneo en el reactor reduciendo su
eficiencia.

Sedimentación Secundaria Unidad I y II:

Las purgas se realizan en forma empírica ya que no existe la --
forma de medir el caudal de purgado, éstas se efectúan a criterio
del personal de operación.

Recirculación Unidad I y II:

En cuanto a recirculación se carece de medidores de flujo, tra
bajando en forma empírica con una tasa de recirculación de 30 y --
45% para las Unidades I y II respectivamente.

Desinfección Unidad I y II:

La dosificación de cloro en las unidades es 5 p.p.m., y se rea
liza mediante la difusión de cloro gas con agua. En la Unidad I se
tiene un tanque de contacto de cloro, siendo adecuada tanto la in
yección como el tiempo de contacto (15 min. aproximadamente). --
En la Unidad II se realiza en una canaleta siendo eficiente tanto --
la inyección como el tiempo de contacto (10 - 15 min.), para tener
una buena remoción de microorganismos patógenos.

Cabe mencionar que la planta deja de operar en la noche, de --
tal forma que el proceso no es continuo. Solamente se están as --
reando los lodos y el primer turno comienza el suministro de alimen
tación.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO FÍSICO.

El modelo físico para la simulación del proceso biológico de
lodos activados (Fig. 4) consta de 3 módulos cada uno compuesto --

por un sedimentador primario, tanque de aeración, sedimentador secundario, una compresora para el suministro de aire; equipo de bombeo para alimentación del tanque de regulación de caudal, alimentación de lodos, así como un tanque de regulación del influente -- Los sedimentadores primarios, pueden variar su carga hidráulica -- superficial, variando la altura del vertedor de salida, los sedimentadores, se purgan mediante una válvula que se encuentra en la parte inferior de la Unidad. El flujo pasa por gravedad al tanque de aeración, dividido en 6 cámaras, mediante mamparas móviles. El suministro de oxígeno y la mezcla de los lodos activados se efectúa por medio de difusores de fibra de vidrio poroso. Para cada difusor, se dispone de una válvula reguladora de aire. La fuente de oxígeno la constituye una compresora cuyo flujo de aire es regulado por medio de un rotámetro. Del tanque de aeración el agua fluye a una caja recolectora de la cual por gravedad pasa al sedimentador secundario, cuyo tirante de operación también es variable. En la parte inferior de esta unidad, se tiene una válvula de purga y una línea de recirculación conectada al reactor, por medio de una bomba controlada por un relé. (Fig. No. 5).

4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL INFLUENTE A LA PLANTA CD. DEPORTIVA.

Objetivo: Plantear alternativas de operación para la PTAR Cd. Deportiva, por lo cual se obtendrán parámetros biocinéticos de tratabilidad del agua residual de la misma, utilizando el Modelo de Eckenfelder.

Hipótesis: El influente a la planta contiene una gran cantidad de contaminantes provenientes de la zona industrial, los cuales han modificado las condiciones de operación de la planta para las cuales se construyó, reflejándose una baja en la cantidad de la capacidad de producción con respecto a la teórica.

Mediante la operación del dispositivo se obtendrá una evaluación de tratabilidad de las aguas y de la opera -

ción de la misma para optimizar su funcionamiento.

Alcances: Mediante pruebas de tratabilidad y según el Modelo de Eckenfelder se determinarán los siguientes parámetros.

- a). Constante de remoción K (d^{-1})
- b). Constante de requerimiento de oxígeno para el proceso de respiración endógena.
 b^1 (d^{-1})
- c). Constante de requerimiento de oxígeno para síntesis
 a^1
$$\frac{\text{Kg } O_2}{\text{Kg total de DQO sol removida}}$$
- d). Constante de crecimiento
 a
$$\frac{\text{Kg SSVLM}}{\text{Kg Total de DQO sol removida}}$$
- e). Constante de respiración endógena
 b (d^{-1})

Metodología:

- I. Elección del sitio de abastecimiento del agua a tratar.
- II. Programa de muestreo: Análisis de Campo y de laboratorio.
- III. Formatos de captura de información.
- IV. Condiciones propuestas para arranque del proceso.
- V. Control del proceso.
- VI. Obtención de condiciones estables.
- VII. Procesamiento de datos experimentales.
- VIII. Obtención de parámetros de diseño
- IX. Bases de diseño y escalamiento.

D E S A R R O L L O

4.4.1. ELECCION DEL SITIO DE ABASTECIMIENTO DEL AGUA A TRATAR.

El sitio elegido está ubicado en el influente al sedimentador primario, considerando este punto representativo, ya que en este sitio comienza el proceso de depuración del proceso.

4.4.2. PROGRAMA DE MONITOREO.

Se realizaron 3 muestreos por semana de fisicoquímicos y 2 microscópicos, estos análisis los realiza el laboratorio central de control. Siendo suficientes para el control del proceso.

A continuación se muestran los parámetros sancionados:

Fisicoquímicos	Microscópicos
PH	Amiboides
Turbidez	Flagelados
DQO sol	Ciliados fijos
Sólidos susp. tot.	Ciliados libres
Sólidos susp. fijos	Rotíferos
Sólidos susp. vol.	Nemátodos

Los análisis de campo se efectuarán diariamente sancionando -- los siguientes parámetros.

Temperatura
Oxígeno disuelto
I.V.L.
Vel.de zona de sedimentación
SSVIM por centrífuga

Muestreo: El influente común (Muestra - 1) se efectuara en -- forma individual, tanques de aeración (Muestras - 2, 3 y 4) será -- muestra compuesta tomando partes iguales de las 6 celdas del reactor.

Efluente del secundario (muestras - 5, 6 y 7) se hará en forma simple.

Línea de recirculación (Muestras - 8, 9 y 10) se realizará en -- forma individual cuando opere la bomba de recirculación.

Purga de lodos: para la purga de lodos se hará lo siguiente:

1. Se suspende la alimentación al módulo a purgar
2. Se suspende la salida del tanque de aeración al sedimentador secundario.

3. Se recircula totalmente el lodo del sedimentador secundario al tanque de aeración.
4. Se extrae el volumen de purga calculado por $V_p = V_a \left(1 - \frac{x_d}{x_r}\right)$ por partes iguales a las 6 celdas del tanque de aeración a la misma profundidad: V_a = volumen del tanque de aeración: ---
 x_d = concentración de SSVLM deseada y x_r = concentración de SSVLM real.
5. Se reinicia la alimentación al módulo.

4.4.3. FORMATOS DE CAPTURA DE INFORMACION.

Para el mejor manejo y uso de los datos de los DETB se registrarán en los siguientes formatos:

- 1). Bitacora de operación
- 2). Reporte diario de control de proceso
- 3). Programa de monitoreo del Proceso
- 4). Reporte diario de la calidad FQB influente y efluente
- 5). Ficha de mantenimiento preventivo
- 6). Exámen microscópico de lodos activados
- 7). Gráficas de evaluación de funcionamiento

Anexo 1

4.4.4. CONDICIONES PROPUESTAS PARA ARRANQUE DEL PROCESO.

Previo a la experimentación es necesario determinar y calcular las condiciones de operación de cada dispositivo que incluye:

- Determinación del valor medio de las concentraciones del DQO soluble influente con base a los valores reportados por el laboratorio y obtenido de estos el dato al 50% de probabilidad de ocurrencia.
- Selección de valores de las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM) para cada módulo, dependiendo de la época de lluvia o estiaje.
- Cálculo de la relación sustrato/biomasa (F/M).
- Suposición de la tasa de recirculación y cálculo de las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles en la recircula

ción.

Estas condiciones se muestran sintetizadas en el cuadro No. 1 del cual se observa lo siguiente:

La relación F/M en el módulo 1 es grande debido a que existe una cantidad de alimento en forma de DQO con valor elevado, mientras que la concentración de microorganismos en forma de SSVIM es baja.

El tiempo medio de retención celular de 6 días es el ideal para un proceso convencional de lodos activados.

La razón por la que se utilizan 3 módulos con distintas concentraciones, es que en la determinación de constantes cinéticas el método que se utiliza es gráfico, las ecuaciones resultantes de este modelo matemático (Eckenfelder) son de una recta, por tal motivo se tendrá una mayor confiabilidad en los datos obtenidos, ya que se amplía de esta forma el comportamiento cinético presente.

Los cálculos se muestran en el Anexo 2

4.4.5. CONTROL DEL PROCESO.

Se hará de acuerdo a las condiciones fijadas en el punto 4.4.4. haciendo posible por mantener constantes las condiciones de operación en un rango permitido.

4.4.6. OBTENCION DE CONDICIONES ESTABLES.

Será cuando la tasa de consumo de oxígeno y la DQO efluente sean estables.

4.4.7. PROCESAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES.

Se hará el procesamiento cuando después de alcanzar las condiciones estables se obtengan los suficientes datos experimentales (1 mes, aproximadamente 20 datos), Mediante el Método de Eckenfelder cuyas constantes se utilizan posteriormente para el rediseño del tanque de aeración.

Las ecuaciones resultantes son:

i). Para la determinación de la constante de remoción K (d^{-1}) y la cantidad de DQO sin remover S_n (mg/e), se tiene la siguiente:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_{at}} = S_n + K S_e$$

Al graficar $\frac{S_0 - S_e}{X_{at}}$ V.S. S_e se obtiene una recta con pendiente $K = (d^{-1})$ y la ordenada S_n (mg/l)

ii). El cálculo de la constante de requerimiento de oxígeno para el proceso de respiración endógena b (d^{-1}) y la constante de requerimiento de oxígeno para síntesis - - - - -
 $a^1 \frac{Kg O_2}{Kg tot. de DQO_s rem}$ se estima la siguiente ecuación:

$$\frac{R_r}{X_a} = b^1 + a^1 \frac{S_0 - S_e}{X_{at}}$$

Graficando $\frac{R_r}{X_a}$ vs $\frac{S_0 - S_e}{X_{at}}$ se tiene = $a^1 \frac{Kg O_2}{Kg tot. DQO_s rem}$.

y $b^1 (d^{-1})$

iii). Por último para la constante de crecimiento

a $\frac{Kg SSVLM}{Kg tot. de DQO_s removida}$ y la constante de respiración.

$$\frac{\Delta X_v}{X_{at}} = b + a \frac{S_0 - S_e}{X_a, t}$$

con pendiente a y ordenada al origen b

Las gráficas se presentan en la fig. No.6

4.4.8. OBTENCION DE PARAMETROS DE DISEÑO.

Para la determinación de las constantes cinéticas se utilizará el modelo de Eckenfelder (Ver inciso 4.5)

4.4.9. BASES DE DISEÑO Y ESCALONAMIENTO.

Al obtener los parámetros biocinéticos se cuenta con la herramienta necesaria para el redimensionamiento de la planta.

4.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

La experimentación tuvo una duración aproximada de dos meses, generándose información confiable en más del 80% de las veces.

En el cuadro No. 2 se tiene un resumen de los datos promedio con los cuales se realizarán los cálculos de las constantes cinéticas utilizando el modelo matemático de Eckenfelder de acuerdo a lo descrito en el inciso 4.4.7. Con lo anterior se obtuvieron las constantes que se muestran en el cuadro No. 3.

A partir de las constantes cinéticas obtenidas, se realizó la evaluación del proceso biológico del sistema de tratamiento y se obtuvieron las condiciones ideales para éste. Los cálculos realizados para el diseño se tienen en el Anexo 3.

En el cuadro No. 4 se muestran en forma global los resultados obtenidos para el período de estiaje considerado como el más crítico.

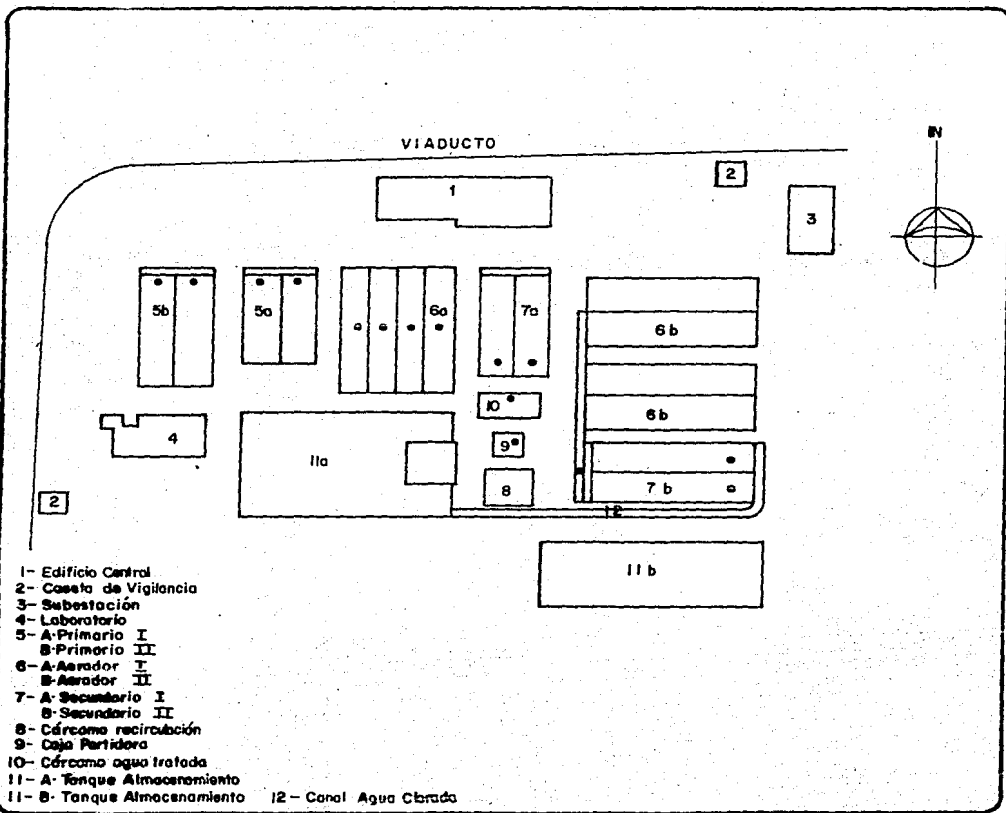
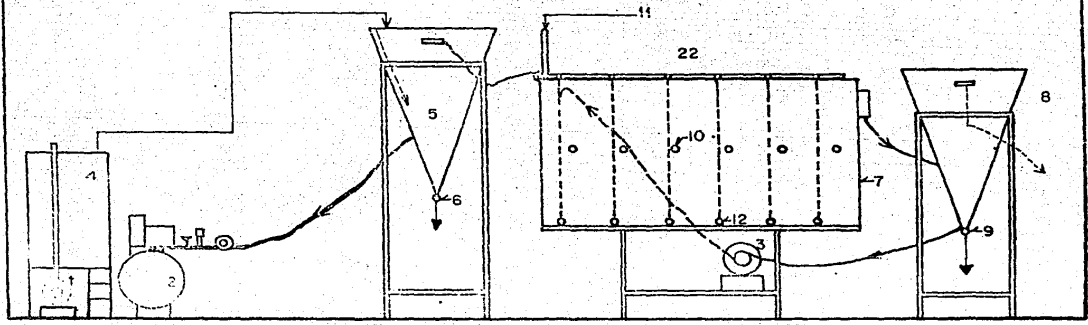


FIG. 3 PLANTA DE TRATAMIENTO C.D. DEPORTIVA

FIG. - 4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- 1- Bomba de alimentación
- 2- Compresora
- 3- Bombos peristáltica de recirculación
- 4- Tanque de almacenamiento
- 5- Sedimentador Primario
- 6- Válvula de purga del sedimentador primario
- 7- Tanque de aeración
- 8- Sedimentador Secundario
- 9- Válvula de purga del sedimentador secundario
- 10- Válvulas de muestreo del tanque de aeración
- 11- Rotámetro
- 12- Difusor de fibra de vidrio poroso



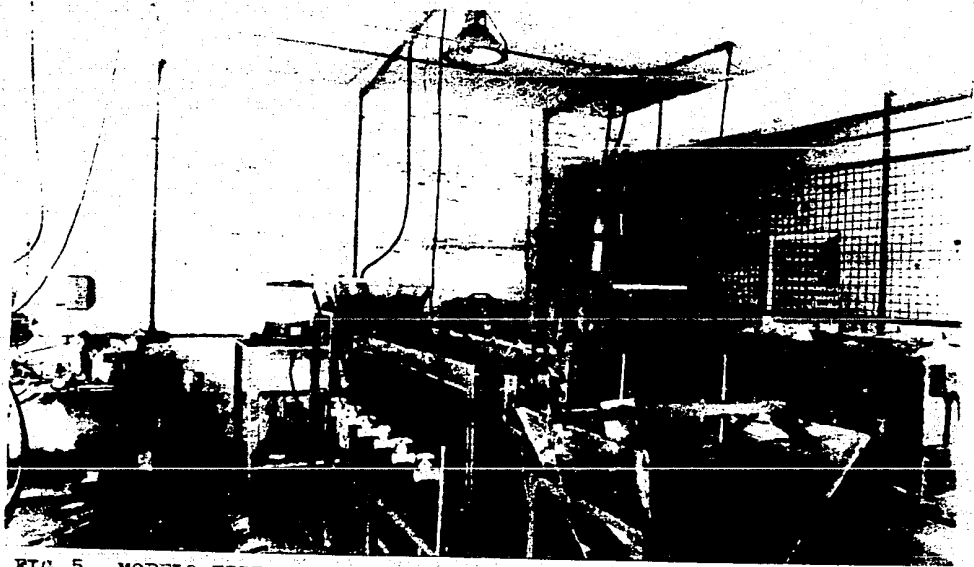


FIG. 5 MODELO FISICO EXPERIMENTAL

MODULO	1	2	3
Gasto influente $Q (=)$ l/min.	0.5	0.5	0.5
Volumen del tanque de aeración $V_a (=)$ l	169	169	169
Tasa de recirculación $r (=)$ Qr/qi	0.2	0.3	0.4
DQO Influyente $S_o (=)$ mg/l	225	209	196
SSVM	800	1400	2000
Gasto de recirculación $Q_r (=)$ l/min.	0.10	0.15	0.20
SSVr $S_r (=)$ mg/l	4800	6066	7000
P/M $\mu (=)$ día	1.4	0.8	0.5
Tiempo medio de retención celular $\theta_c (=)$ día	6.0	6.0	6.0

Quadro No. 1 Condiciones iniciales de operación para determinar la tratabilidad de las aguas residuales

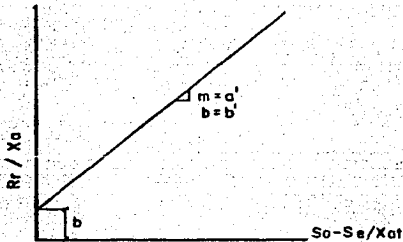
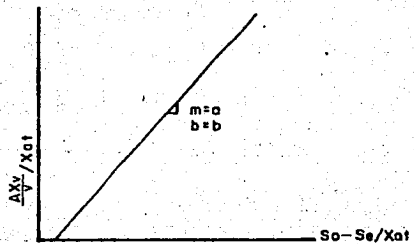
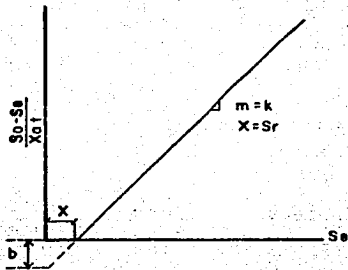


Figura No. 6 Gráfica para el cálculo de las constantes cinéticas mediante el modelo de Eckenfelder.

REACTOR \ PARAMETRO	S_o mg/l	S_e mg/l	X_a mg/l	R_r mg/l-d	t d	AXU/V mg/dl	$\frac{S_o - S_e}{X_a t}$	$\frac{AXU/V}{X_a}$	$\frac{R_r}{X_a}$
1	140.2	67.0	797	456.5	0.196	64.5	0.468	0.081	0.573
2	130.8	50.5	1450	640.8	0.181	134.8	0.306	0.093	0.442
3	119.9	31.0	2121	656.6	0.163	31.8	0.256	0.015	0.309

CUADRO No. 2

VALORES PROMEDIO DE LA INFORMACION PARA EL CALCULO DE LAS
CONSTANTES CINETICAS.

NOMBRE	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDADES
REMOCION DE SUSTRATO	K	0.0096	d ⁻¹
PRODUCCION DE LODOS	a	0.311	Kg SSVLM/kg total DBO removida
RESPIRACION ENDOGENEA	b	0.064	d ⁻¹
TASA DE CONSUMO PARA SINTESIS	a'	1.13	KgO ₂ /kg total DBO ₅ removida
TASA DE CONSUMO PARA LA FASE ENDOGENEA	b'	0.05	d ⁻¹
MATERIAL NO BIODEGRA- DABLE	Sr	18.86	Mg/l

Quadro No. 3 Constantes Cinéticas.

PARAMETRO	UNIDAD	REAL	CONDICIONES	IDEAL
GASTO	l/s	188		230
VOLUMEN	m ³	4210		6230
TASA DE RECIRCULACION	%	40		50
DQO INFLUENTE	mg/l	260		260
SSVM	mg/l	2000		2500
SSVR	mg/l	5000		7500
F/M	d ⁻¹	0.5		0.36
TMRC	días			5.55
TRH	h	4.8		5
EFICIENCIA	%	75		88

CUADRO No. 4 COMPARACION DE LAS CONDICIONES IDEALES Y REALES DE LA PLANTA

5. DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO OBTENIDOS CON LOS REALES.

Del cuadro No. 4 se observa que el volumen requerido para caudal de diseño es aproximadamente en 32.5% mas que el existente, en el gasto efluente se tiene que no opera la planta con el gasto de diseño y que esta por debajo de ella en 18% lo que la acerca a la condición ideal; en relación a los SSVIM esta abajo del ideal en un 20%, por otra parte la relación alimento-microorganismos se excede el 28% lo que quiere decir que hay un poco más de sustrato que biomasa, finalmente al comparar las eficiencias, la real se encuentra por debajo de la ideal en 15%. Lo que quiere decir que existe una relación inversa entre la calidad del efluente y el caudal a tratar, es decir que mientras mas grande sea la cantidad de agua a tratar la calidad se verá afectada, osea disminuirá.

En los cuadros No. 5, 6 y 7 se determinaron los parámetros de diseño para el sedimentador primario, tanque de aeración y sedimentador secundario.

Al hacer la comparación de los parámetros de diseño obtenidos de la cinética con los reales se tiene que los volúmenes de cada unidad son menores a los requeridos; por lo tanto surge la necesidad de generar nuevas políticas que optimicen la operación del sistema.

5.2 POLITICAS DE OPERACION

Dada las variaciones de caudal y calidad FQB de las aguas influentes que se presentan en la planta, se desarrollaron políticas de operación para condiciones críticas, medias y óptimas que están en función de las capacidades reales de las instalaciones, de tal manera que se garantice una buen producción de agua renovada y con ello puedan minimizarse los riesgos por contaminación a uso inadecuado del recurso.

Se consideraron tres gastos para cada una de las unidades que pueden soportar los parámetros de operación sin que causen efectos

en el desarrollo del proceso; ya que en la actualidad cuando las demandas son relativamente bajas (época de lluvias) generalmente se suspende la operación de una de las unidades para darle mantenimiento o también es común interrumpir el caudal de alimentación -- por las noches, lo cual genera problemas en el control y operación del proceso.

Los gastos seleccionados son para la Unidad I de 55, 60 y 68 l/s y para la unidad II es de 88, 93 y 100 l/s provocando cambios en los parámetros sin que afecten la calidad final, en los cuadros 8 al 13 se presentan estas condiciones y que a continuación se describen brevemente.

UNIDAD I

Para un gasto de 55 l/s, el sedimentador primario trabaja con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 2.5 hr, la Carga Superficial (C.S.) de $35 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y una carga en vertedor (C.V.) de $297 \text{ m}^3/\text{m-d}$ que representan para el primero un 25% más del ideal sin embargo la eficiencia de remoción se mantiene en el 50%, para los restantes pueden soportar hasta un 20 y 18% respectivamente.

Se debe purgar 3 m^3 cada 6 horas para época de lluvias y de 3 m^3 cada 3.5 hr en la época de estiaje.

Para el reactor en la época de lluvia se tienen los siguientes parámetros de control: El TRH de 5.5 hr, la F/M de 0.330 d^{-1} , O.D. de 2.0 mg/l , IVL de 101.0, TMRC de 4.6 d y la concentración de SSVLM 1760 mg/l , con una tasa de recirculación del 50%. Para la época de estiaje el TRH, O.D. IVL tasa de recirculación son los mismos que en lluvia, solo la F/M que es de 0.331 , TMRC de 6.3 d y SSVLM 2500 mg/l .

El sedimentador secundario, en el período de lluvias debe trabajar con los siguientes valores: TRH de 3.5 hr. con una CS de $41.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y una CV de $81.3 \text{ m}^3/\text{m-d}$. Con respecto a la recirculación se debe retornar 27.5 l/s que es el 50% en los dos períodos pe-

ro la purga varía para cada uno de ellos y debe ser de $83.5 \text{ m}^3/\text{d}$ -- para lluvia y $86.6 \text{ m}^3/\text{d}$ para estiaje (Cuadro No. 8 .)

Para un gasto de 60 l/s , el sedimentador primario trabajará -- con un TRH de 2.26 hr , que sobrepasa en un 13% al ideal, por lo -- tanto puede soportar mayor capacidad de carga, CS es de $38 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ -- y una CV de $324 \text{ m}^3/\text{m-d}$ estando abajo cada una 13 y 12% respectiva -- mente del ideal; se tiene que realizar purgas de 3 m^3 cada 5.5 hr . -- en lluvias y 3 m^3 cada 3.25 hr . en estiaje.

En el reactor, para el período de lluvias se deberá tener lo -- siguiente: TRH 5.05 hr , la relación F/M de $0.360 \text{ O.D. } 2 \text{ mg/l}$, un -- IVL de 101 , TMRC de 4.2 d , y la concentración de SSVLM de 1760 mg/l con una tasa de recirculación del 50% . En estiaje el TRH, O.D., -- IVL, tasa de recirculación son los mismos que en lluvia a excepción de F/M de 0.361 d^{-1} , TMRC de 5.6 d , concentración SSVLM de 2500 mg/l .

En el sedimentador secundario, el TRH de 3.2 hr ., la CS de $45 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y una CV de $88.7 \text{ m}^3/\text{m-d}$ para los 2 períodos, por lo tanto com -- parando con resultados ideales todavía puede soportar más carga. -- Para la recirculación sera 30 l/s y la purga $91.5 \text{ m}^3/\text{d}$ y $97.4 \text{ m}^3/\text{d}$ para lluvia y estiaje.

(Cuadro No. 9)

Para un gasto de 68 l/s el sedimentador primario trabajará con un TRH de 2 hr , siendo el ideal, al igual la CS que es de $4.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y la CV de $367 \text{ m}^3/\text{m-d}$ teniendo que realizar purgas de 3 m^3 cada 5 hr , en el período de lluvias y 3 m^3 cada 2 hr . para estiaje.

Para el reactor en la época de lluvias los siguientes paráme -- tros de control: TRH 4.45 hr F/M 0.408 d^{-1} O.D. 2 mg/l , IVL 101.0 , el TMRC 4.0 d , la concentración de SSVLM de 1760 mg/l y la tasa de -- recirculación del 50% . En época de estiaje el TRH. O.D. IVL y la ta -- sa de recirculación son las mismas que en lluvias, pero la F/M es de 0.409 d^{-1} , el TMRC 5 d y la concentración de SSVLM de 2500 mg/l .

En el sedimentador secundario para la época de lluvia y estia -- je debe operar con los siguientes valores: TRH 2.8 hr , CS $51.4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y CV $100.6 \text{ m}^3/\text{m-d}$.

Estos valores son ideales sin embargo, la carga superficial - sobrepasa en un 70%; la recirculación debiera ser 34 l/s, mientras - que la purga en lluvia será de $96 \text{ m}^3/\text{d}$ y en estiaje de $113.12 \text{ m}^3/\text{d}$ (Cuadro No. 10)

UNIDAD II

En la unidad II se pueden manejar también tres gastos diferentes dependiendo de las condiciones que se tengan.

Para un gasto de 88 l/s, el sedimentador primario trabajará -- con un TRH de 2.6 hr., que sobrepasa en un 30% a las condiciones -- ideales, por lo cual puede soportar mayor gasto, la CS deberá ser -- de $25.24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ este valor esta abajo del ideal 41%, por lo cual -- puede soportar mayor capacidad; la CV es de $316.8 \text{ m}^3/\text{m-d}$ está tam -- bién esta abajo de la ideal en 12%; con relación a la purga tiene -- que ser 4.5 m^3 cada 5.7 hr., para el período de lluvia y $4.5 \text{ m}^3/3.3$ hr., para estiaje.

En el reactor se deberá manejar: el TRH de 5.4 hr, $F/M = 0.336 \text{ d}^{-1}$ y la tasa de recirculación del 50%. Estos valores para el período de lluvia también son válidos para estiaje a excepción de la F/M que es de 0.337 d^{-1} , el TMRC de 6.2 d y la concentración de SSVIM de -- 2500 mg/l .

Para el sedimentador secundario, se deberá operar con un TRH - de 3.4 hr., la CS de $21.55 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$, este valor esta abajo del -- ideal en 28% por lo tanto puede soportar mayor gasto y la CV es de $103.8 \text{ m}^3/\text{m-d}$; la recirculación debe ser de 44 l/s con purgas de -- 134.2 y $138.3 \text{ m}^3/\text{d}$ para lluvias y estiaje respectivamente (Cuadro - No. 11).

Para un gasto de 93 l/s, el sedimentador primario tendrá un - TRH de 2.41 hr., el cual es mayor que el ideal en 21% lo que quiere decir que se puede aumentar la capacidad, la CS deberá ser de -- $27.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ estando abajo del ideal en 37%, esto indica que puede soportar mayor capacidad, al igual la CV debe ser de $342.3 \text{ m}^3/\text{m-d}$ y

también esta abajo del ideal en 5%, con purgas de 4.5 m^3 cada 5.4 hr., para lluvias y 4.5 m^3 cada 3 hr., en estiaje.

En el tanque de aeración para el período de lluvias se tiene que operar con TRH de 5.1 hr., F/M de 0.356 d^{-1} , O.D. de $2.0 \text{ mg}/1$, el IVL de 101.0, TMRC de 4.3 d la concentración de SSVLM de $1760 \text{ mg}/1$ y la tasa de recirculación del 50%.

En estiaje el TRH, O.D., IVL y la tasa de recirculación son los mismos a excepción de la F/M de 0.357 d^{-1} , TMRC de 6.08 d y la concentración de SSVLM de $2500 \text{ mg}/1$.

En el sedimentador secundario, se tendrá el TRH de 3.22 hr., sobrepasando 19% al ideal, la CS de $22.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ la cual esta abajo del ideal y la CV de $109.7 \text{ m}^3/\text{m-d}$ que esta arriba del ideal 10% -- por esto ya no se puede aumentar el gasto. La recirculación es de 46.5 l/s y las purgas deberán ser de $140.5 \text{ m}^3/\text{d}$ en lluvias y $149.9 \text{ m}^3/\text{d}$ para estiaje (Cuadro No. 12)

Con un gasto de 100 l/s , el sedimentador primario tendrá un TRH de 2.3 hr., comparando con los ideales esta arriba en 15% por lo que todavia puede soportar más carga, la CS es de $28.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y también esta abajo en 14% y la CV de $360 \text{ m}^3/\text{m-d}$, esto indica que se encuentra en el límite y no se puede aumentar el caudal. La purga en el período de lluvias será de 4.5 m^3 cada 5 hr., y en estiaje 4.5 m^3 cada 3 hr.

Para el reactor el TRH es de 4.76 hr, la F/M de 0.381 d^{-1} , -- O.D. de $2.0 \text{ mg}/1$, el IVL de 101.0, TMRC de 4 d, la concentración de SSVLM de $1760 \text{ mg}/1$ y una tasa de recirculación del 50% en el período de lluvias; para estiaje el TRH, O.D. IVL y la tasa de recirculación son los mismos valores que en lluvia; con respecto a la F/M es de 0.383 d^{-1} , TMRC de 5.17 d y la concentración de SSVLM de $2500 \text{ mg}/1$, la purga para lluvias es de $151 \text{ m}^3/\text{d}$ y en estiaje de $165.9 \text{ m}^3/\text{d}$.

En el sedimentador secundario, se tiene el TRH de 3.0 hr, el -

cual sobrepasa el ideal en 11%, la CS de $24.4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ en comparación con la ideal esta abajo en 19% y la CV de $118.0 \text{ m}^3/\text{m-d}$, que se encuentra arriba del valor ideal en 18% lo que significa que no se puede aumentar ya el caudal. La recirculación es de 50 - - l/s y la purga será de $151.0 \text{ m}^3/\text{d}$ y $165.9 \text{ m}^3/\text{d}$ respectivamente para lluvia y estiaje (Cuadro No. 13).

Con respecto a la inyección de cloro se recomienda hacer demandas de cloro periódicamente, así como el de realizar un estudio a largo plazo de la inyección del mismo dentro del proceso.

PARAMETROS	UNIDADES	UNIDAD	UNIDAD II
CAUDAL	m^3/dia	6912	12960
CARGA SUPERFICIAL	m^3/m^2-d	43	39
CARGA EN VERTEDEROS	$m^3/m-d$	720	389
TIEMPO DE RETENCION	HORAS	1.96	1.68
REMOCION DE SST	%	40	40

CUADRO No. 5 Parámetros de diseño de las unidades de sedimentación primaria.

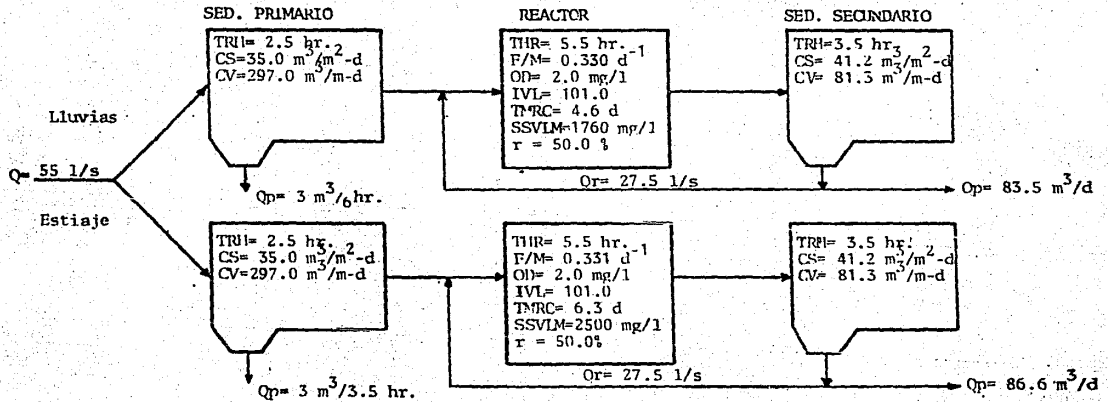
PARAMETRO	UNIDADES	UNIDAD I	UNIDAD II
TIEMPO DE RETENCION	h	5.0	5.0
F/M	d-1	0.363	0.363
TNRC	d	5.5	5.5
SSVIM	mg/lt	2500	2500
O.D	mg/lt	2.0	2.0
IVL		101	101
TASA DE RECIRCULACION	%	50	50

Cuadro No. 6 Parámetro de diseño del rector biológico

PARAMETROS	UNIDADES	UNIDAD I	UNIDAD II
CARGA SUPERFICIAL	$\frac{3.2}{m^2}$ día	30	33
CARGA VERTEDOR	$\frac{3}{m}$ /m-día	100	177
TIEMPO DE RETENCION	hr	2.7	2.2
GASTO DE RECIRCULACION	%	40	75
REMOCION DE LODOS	%	84.9	80.8

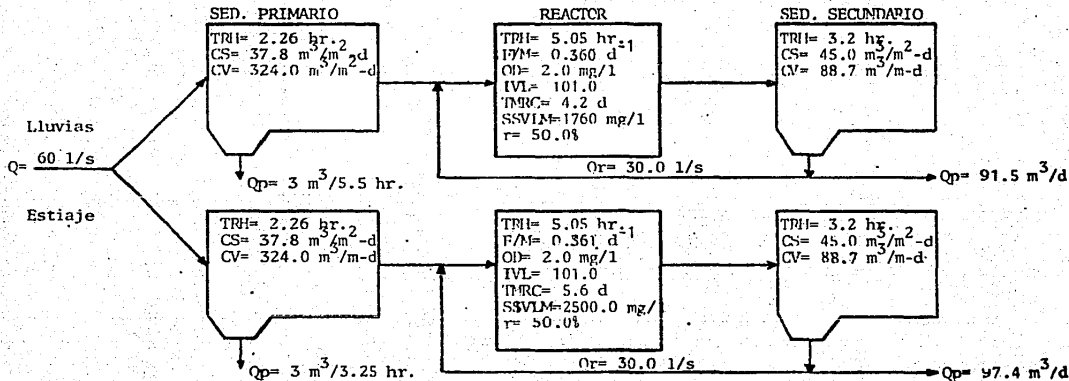
Cuadro No. 7 Parámetro de diseño de las unidades de sedimentación secundaria

UNIDAD I



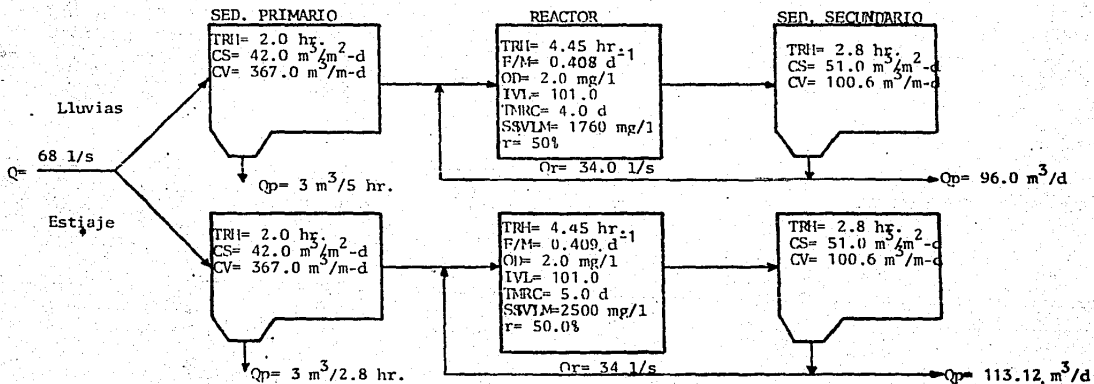
CUADRO No. 8 POLITICAS DE OPERACION

JUNIDAD I



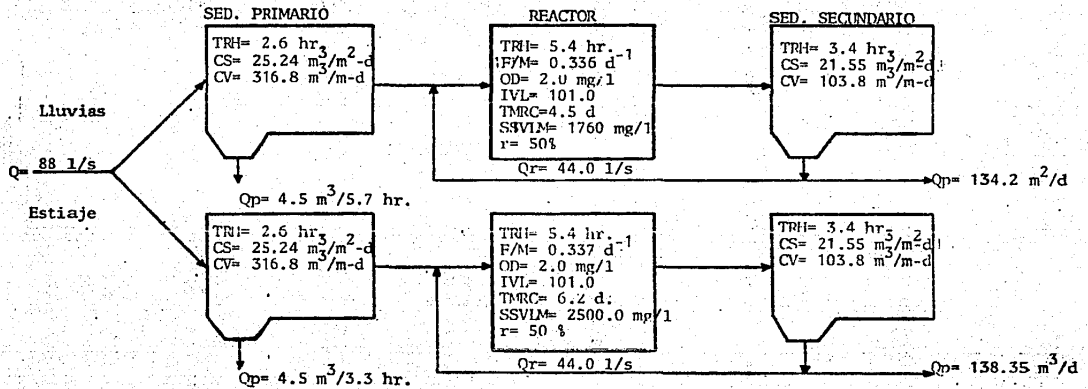
CUADRO No. 9 POLITICAS DE OPERACION

UNIDAD I



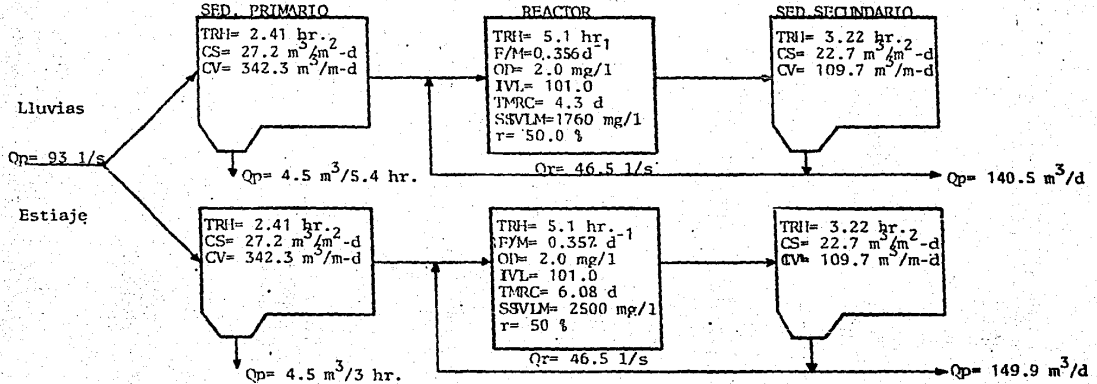
CUADRO No.10 POLITICAS DE OPERACION

UNIDAD II



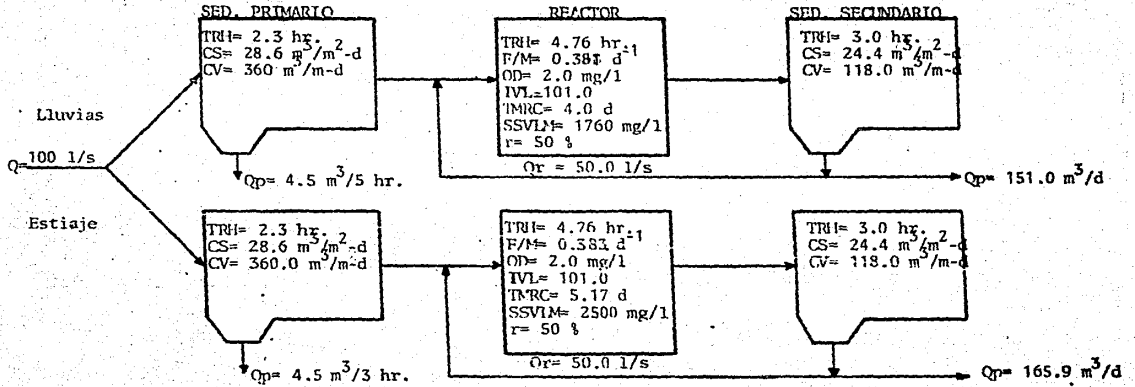
CUADRO No.11 POLITICAS DE OPERACION

UNIDAD II



CUADRO No. 12 POLITICAS DE OPERACION

UNIDAD II



CUADRO No. 13 POLITICAS DE OPERACION

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La calidad FQB de las aguas residuales que captan los colectores de suministro a la planta han variado sus características con respecto al tiempo, observándose actualmente una influencia media industrial. Entre los contaminantes más incidentes se encuentran los metales pesados, (fierro, Manganeso, Cadmio y Mercurio) y un alto contenido de materia orgánica (DQO y DBO).

Esta agua se trata por el método convencional de lodos activados para después ser utilizada en el riego de áreas verdes; sin embargo algunos parámetros como metales pesados y materia orgánica sobrepasan el criterio de calidad para este uso. Esto es debido a las condiciones físicas y operativas en las que se encuentra la planta de tratamiento, también cabe mencionar que dicha planta opera con eficiencias menores tanto de remoción como de capacidad de diseño, previendo ser menor la cantidad y calidad de agua producida que la demandada por los usuarios. Para solucionar dichos problemas se realizaron pruebas de tratabilidad a nivel piloto en el DETB donde se obtuvo la cinética, y a partir de está se diseñó la planta de tratamiento.

Al comparar los parámetros de diseño de la planta con los reales se encontró que los volúmenes globales requeridos son mayores en un 32.5% a los existentes. Por tanto, si se trabaja a la capacidad de diseño se obtendrán bajas eficiencias de remoción y por ende, mala calidad en el agua producida debido a que no se cumplirá con los parámetros de diseño recomendados en la prueba de tratabilidad realizada.

Al aplicar los resultados obtenidos en las instalaciones actuales deberán cuidarse dos factores importantes; calidad y cantidad, con base en esto, se generaron políticas de operación, que conservan un margen de flexibilidad en el manejo de caudales máximo, medio y mínimo; de esto puede concluirse que aun cuando en ningún caso, las dos unidades podrán trabajar a la capacidad de diseño, con

una calidad adecuada, podrá explotarse hasta en un 85 y 66% de su gasto de diseño en las Unidades I y II respectivamente con una confiabilidad satisfactoria, puesto que además del uso para riego de áreas verdes y camellones, también se podrá utilizar en actividades industriales tales como enfriamiento, servicios generales, producción de vapor y en algunos procesos.

De esta forma se contribuirá a rescatar volúmenes importantes de agua potable que actualmente son utilizadas en las actividades descritas anteriormente.

Considerando que la planta Cd. Deportiva se ubica en una zona industrial, para realizar labores de aceptación del uso de agua tratada en algunas actividades industriales se proponen realizar pruebas en sus instalaciones. De esta forma se podrá garantizar que el uso de este recurso además de ser rentable permitirá rescatar volúmenes apreciables de agua potable utilizados en la industria.

Al lograr lo antes descrito se contribuirá a solucionar el problema existente de la escasez de agua potable en el D.F. ya que al sustituir paulatinamente el uso de agua potable por tratada aumentará el volumen destinado a consumo de la población, para uso de primera necesidad.

A N E X O # 1

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO



CONDICIONES DE OPERACION

PTAR : _____

REPORTE DE OPERACION DEL DIA : _____

PARAMETROS	MOD-1	MOD-2	MOD-3
SSVLM (mg/l)			
TMRC (dia)			
TASA DE RECIRC.			

OBSERVACIONES :

CONCLUSIONES :

PARAMETROS DE LABORATORIO EN CAMPO

PARAMETROS	UNIDADES	MODULO 1	MODULO 2	MODULO 3
SOL SED. EN 30 min.	ml/l.			
SSVLM POR CENTRIFUGA	mg/l. Vs. %sol			
TCO	mg/l. min.			
VZS	ml/min.			
RELACION F/M	dia ⁻¹			
IVL				
EFICIENCIA DE REMOCION	%			

PARAMETROS DEL CONTROL OPERATIVO

PARAMETROS	UNIDADES	MODULO 1	MODULO 2	MODULO 3
Q _i	ml/min.			
Q _r	l/dia			
TASA DE RECIRCULACION	%			
TEMPERATURA INFLUENTE	°C			
TEMPERATURA EFLUENTE	°C			

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO EQUIPO Y/O PROCESO : _____

SOLICITUD DE INSUMOS : _____

INFORME DE INASISTENCIAS : _____

NOMBRE : _____

FIRMA : _____

REPORTE DIARIO DE LA CALIDAD DE INFLUENTE Y EFLUENTE

PLANTA _____		FECHA _____		ANALISTA _____			
CLAVE	PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE		UNIDAD	% REMOCION	
			U-I	U-II		U-I	U-II
0101	PH						
0103	TURBIDEZ				UNT		
0104	TEMPERATURA				°C		
0201	ALCALINIDAD TOTAL				mg/Kgm CO ₃		
0203	MADEZA TOTAL				mg/10000g		
0207	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA				microhm/cm		
0208	CLORUROS				mg/l.		
0209	SORO				mg/l.		
0301	SOLIDOS TOTALES				mg/l.		
0303	SOLIDOS TOTALES VOLATILES				mg/l.		
0307	SOLIDOS SUSPENSADOS TOTALES				mg/l.		
0309	SOLIDOS SUSPENSADOS VOLATILES				mg/l.		
0310	SOLIDOS SEDIMENTABLES				mg/l.		
0501	NITROGENO AMONIACAL				mg/l.		
0502	NITROGENO TOTAL				mg/l.		
0604	FOSFORO TOTAL				mg/l.		
0701	CALCIO TOTAL				mg/l.		
0702	MAGNESIO TOTAL				mg/l.		
0703	SODIO TOTAL				mg/l.		
0704	POTASIO TOTAL				mg/l.		
0801	PIRROLO TOTAL				mg/l.		
0902	MANGANESO TOTAL				mg/l.		
0909	PLUMBO TOTAL				mg/l.		
0904	CASBITO TOTAL				mg/l.		
0906	MERCURIO TOTAL				mg/l.		
0905	ARSENICO TOTAL				mg/l.		
0907	CROMO TOTAL				mg/l.		
1001	COLIFORMES FECALES				mg/l.		
1002	COLIFORMES TOTALES				mg/l.		
1102	BOD ₅ SOLUBLE				mg/l.		
1103	BOD TOTAL				mg/l.		
1104	DOO SOLUBLE				mg/l.		
1201	GRASAS Y ACEITES				mg/l.		
1301	S.A.A.M.				mg/l.		
1400	HIPOCANTEROS ALIFATICOS				mg/l.		
1500	HIPOCANTEROS AROM. HALOGENADOS				mg/l.		
1600	HIPOCANTEROS POLARISABILES				mg/l.		
1700	HIPOCANTEROS POLINERIZABLES				mg/l.		
1800	ESTERES HALOGENADOS				mg/l.		
1900	NITROCOMPUESTOS ALIFATICOS				mg/l.		
2001	NITROCOMPUESTOS AROMATICOS				mg/l.		
2101	FENILES				mg/l.		
2201	FENILES CLORADOS				mg/l.		
2301	POLICICLOPENTENOS				mg/l.		
2401	PESTICIDAS CLORADOS				mg/l.		
2501	ESTERES DEL ACIDO PALMICO				mg/l.		
2601	QUINOLINO SOLUBLE				mg/l.		
2701	CLORO RESIDUAL				mg/l.		

FICHA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

PLANTA _____

EQUIPO _____

UNIDAD _____

LOCALIZACION _____

FECHA	ACTIVIDAD	REALIZO	SUPERVISO	OBSERVACIONES



**DIRECCION TECNICA
SUBDIRECCION DE DESARROLLO
UNIDAD DEPARTAMENTAL DE POT. TRAT. Y REUSO**

HOJA DE TRABAJO PARA EXAMEN MICROSCOPICO DE LODOS ACTIVADOS







DATOS: _____

TIEMPO: _____ AM
PM.

LUGAR DE MUESTREO: _____

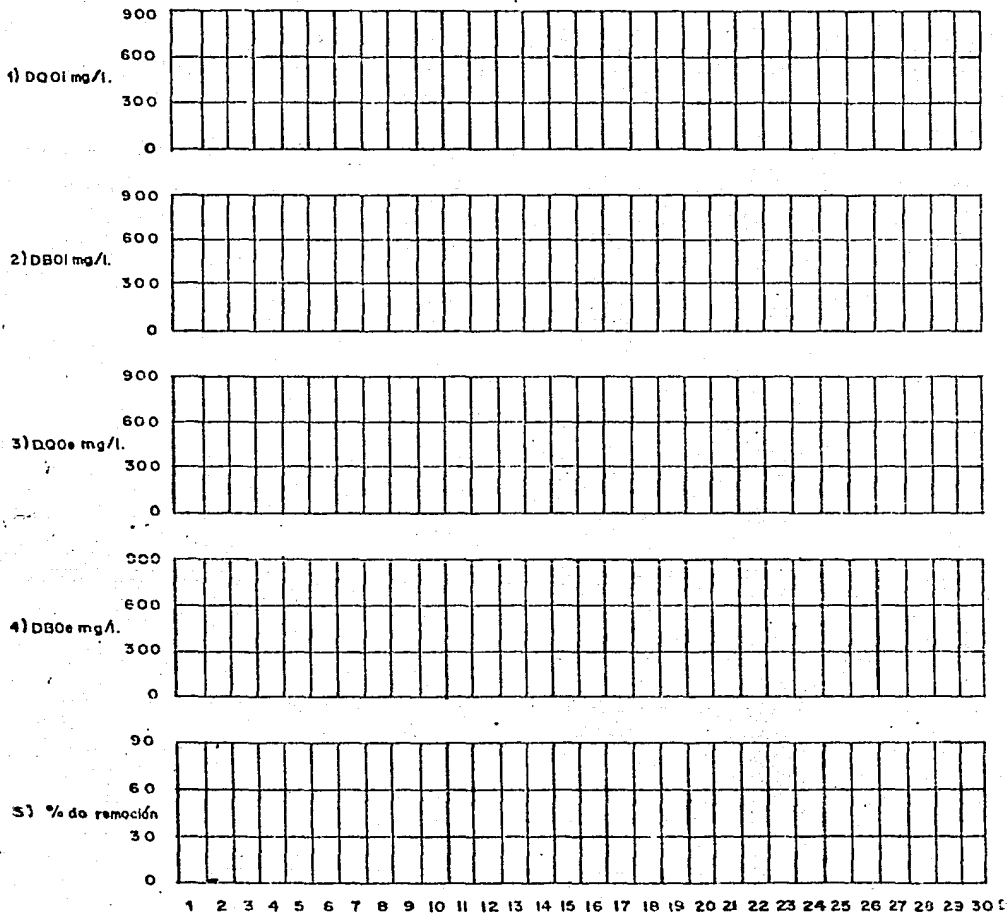
TEMPERATURA _____

REPORTADO POR: _____

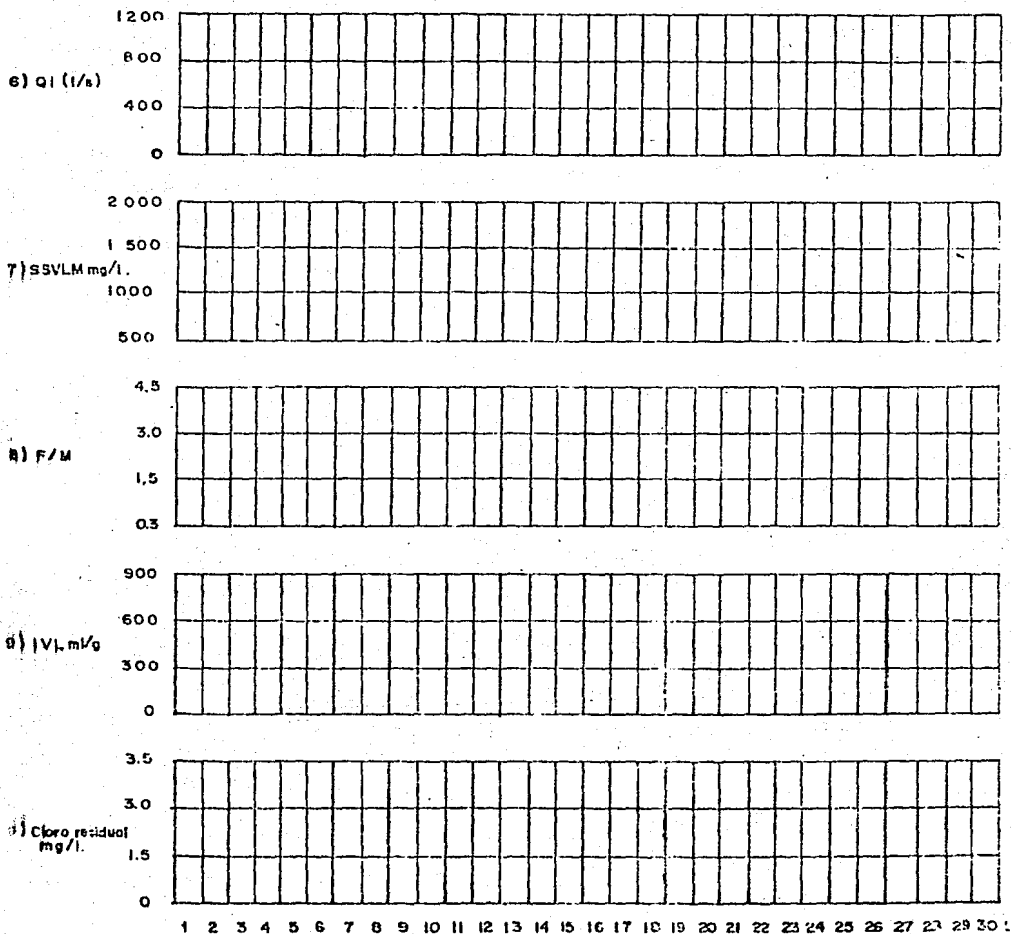
GRUPO DE MICROORGANISMOS		REACTOR 1			REACTOR 2			REACTOR 3			TOTAL		
		C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	T1	T2	T3
AMBOIDES													
FLAGELADOS													
CILIADOS LIBRES													
CILIADOS FIJOS													
ROTIFEROS													
NEMATODOS													

PREDOMINANCIAS RELATIVAS:	REAC. 1	REAC. 2	REAC. 3
1.-			
2.-			
3.-			

GRAFICA DE EVALUACION DE FUNCIONAMIENTO



GRAFICA DE EVALUACION DE FUNCIONAMIENTO



A N E X O # 2

Condiciones propuestas para arranque del proceso

a) Gasto influente:

Por condiciones de diseño del dispositivo experimental se tienen:

$$Q_i = 0.5 \text{ l/min.}$$

por cada módulo.

b) Volumen de los tanques de aeración:

Por condiciones de construcción se determinará su volumen como un prisma cuadrangular en los tres módulos.

$$V_a = L \cdot W \cdot H \cdot 5 [w \cdot l \cdot h]$$

donde:

$$L = \text{largo} = 1.19 \text{ m.}$$

$$H = \text{tirante} = 0.53 \text{ m.}$$

$$W = \text{ancho} = 0.28 \text{ m.}$$

tanqueos:

$$l = \text{largo} = 0.53 \text{ m.}$$

$$h = \text{ancho} = 0.28 \text{ m.}$$

$$w = \text{espesor} = 0.0095 \text{ m}$$

$$V_a = (1.19)(0.28)(0.53) \cdot 5 [(0.0095)(0.53)(0.28)] = 0.1694 \text{ m}^3 = 169.4 \text{ l}$$

c) Tasa de recirculación "r":

Con base en balances de materia, efectuados en la práctica se tienen los siguientes valores de tasas de recirculación para las concentraciones ideales marcadas:

$$\text{Módulo 1: } r = 0.2 \text{ (crítica)}$$

$$\text{Módulo 2: } r = 0.3 \text{ (media)}$$

$$\text{Módulo 3: } r = 0.4 \text{ (ideal)}$$

d) DGO influente:

Por los datos promedio tomados de la época de estiaje correspondientes a todo el año 1985 se tiene:

Parámetro	Valor
D.B.C ₅ tot.	262 mg/l
D.B.C ₅ sol.	159 mg/l
D.G.C tot.	67.5 mg/l
D.G.C sol.	26.5 mg/l

Para los siguientes cálculos se utiliza el valor de DGO sol. = 26.5 mg/l por ser el valor representativo de la caracterización del agua a tratar.

e) Cálculo de S_0 :

Es el influente producido de la combinación del influente de la planta con el agua recirculación. Para el cálculo de la concentración de influente promedio (S_0) se cuenta con la siguiente expresión matemática:

$$S_0 = \frac{S_1 + r S_2}{1 + r}$$

donde:

S_1 = Concentración del influente promedio como D.B.C₅ soluble en mg/l

r = tasa de recirculación

S_2 = Concentración del efluente promedio en mg/l

Para la concentración del efluente promedio se toma el valor de 25 mg/l basado en experiencias anteriores.

El S_0 se calcula para cada módulo:

$$\text{Módulo 1: } S_0 = \frac{225 + 0.2(25)}{1 + 0.2} = 325 \text{ mg/l}$$

$$\text{Módulo 2: } S_0 = \frac{265 + 0.3(25)}{1 + 0.3} = 207.6 \text{ mg/l}$$

$$\text{Módulo 3: } S_0 = \frac{265 + 0.4(25)}{1 + 0.4} = 196.4 \text{ mg/l}$$

f) Concentración de SSVLM de la FT&R Cd. Deportiva
VA medidos en el periodo de estudio para la Unidad II son:
1675 mg/l máximo 1450-1205 mg/l medio 800 mg/l mínimo

Se toma el valor de 800 mg/l como valor crítico siendo este el valor más bajo detectado durante todo el periodo, por lo cual puede ser representativo. Para el valor medio se toma el de 1400 mg/l siendo uno de los más detectados durante el periodo de monitoreo. El valor ideal sería de 2000 mg/l tomándolo por experiencias anteriores.

Resumiendo lo anterior:

$$\text{Módulo 1: } SSVLM = 800 \text{ mg/l} = X_{va}$$

$$\text{Módulo 2: } SSVLM = 1400 \text{ mg/l} = X_{va}$$

$$\text{Módulo 3: } SSVLM = 2000 \text{ mg/l} = X_{va}$$

g) Gasto de recirculación:

Este cálculo se hace mediante la siguiente expresión matemática:

$$r = \frac{Q_r}{G_i} \Rightarrow Q_r = Q_i r$$

donde:

Q_r = gasto de recirculación en l/min.

r = Tasa de recirculación

G_i = gasto influente en l/min.

Por módulo:

Módulo 1: $Q_r = 0.2 (0.5) = 0.1$ l/min.

Módulo 2: $Q_r = 0.3 (0.5) = 0.15$ l/min.

Módulo 3: $Q_r = 0.4 (0.5) = 0.2$ l/min.

h) Sólidos suspendidos volátiles en la recirculación:
Para tal efecto se tiene la siguiente expresión:

$$SSV_r = \frac{G_i SSV_{iM} + Q_r SSV_{iM}}{Q_r}$$

Por módulo:

Módulo 1: $SSV_r = \frac{0.5(800) + 0.1(800)}{0.1} = 4800$ mg/l

Módulo 2: $SSV_r = \frac{0.5(1400) + 0.15(1400)}{0.15} = 6066$ mg/l

Módulo 3: $SSV_r = \frac{0.5(2000) + 0.2(2000)}{0.2} = 7000$ mg/l

i) Relación alimento-microorganismo (F/H):

Se calcula con la siguiente expresión:

$$F/H = \frac{DGO_{sol.} \cdot Q_0}{SSV_{iM} \cdot V_a}$$

donde:

$$Q_0 = Q_i + Q_r$$

V_a = volumen del reactor en l.

Para cada modulo:

$$\text{Modulo 1: } F/V = \frac{225 \text{ mg/l} \times 0.6 \text{ l/min} \times 1420 \text{ mg/l}}{800 \text{ mg/l} \times 160.4 \text{ l}} = 1.43 \text{ d}^{-1}$$

$$\text{Modulo 2: } F/V = \frac{259.6 \text{ mg/l} \times 0.6 \text{ l/min} \times 1420 \text{ mg/l}}{1400 \text{ mg/l} \times 160.4 \text{ l}} = 0.827 \text{ d}^{-1}$$

$$\text{Modulo 3: } F/V = \frac{196.4 \text{ mg/l} \times 0.7 \text{ l/min} \times 1420 \text{ mg/l}}{2000 \text{ mg/l} \times 160.4 \text{ l}} = 0.827 \text{ d}^{-1}$$

A N E X O # 3

Tanque de aereación Unidad I

Influyente Caudal $QF = 80 \text{ l/s}$
 DBO $SF = 260 \text{ mg/l}$
 SSV $XF = 167 \text{ mg/l}$
 Temp $\text{min} = 18.75 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\text{max} = 21.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Efluente DBO $Se = 50 \text{ mg/l}$
 SSV $Xe = 90 \text{ mg/l}$

Reactor SSV LM $X = 2500 \text{ mg/l}$
 SSV R $Xr = 7500 \text{ mg/l}$
 temp $\text{min} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\text{max} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Constantes cinéticas

$$K = 0.0096 \text{ d}^{-1}$$

$$\theta = 1.03 \text{ (cte de Arrhenius para K)}$$

$$a = 0.311 \frac{\text{kg SSV LM}}{\text{kg total de DBO sul removido}}$$

$$k_d = 0.064 \text{ (d}^{-1}\text{)}$$

$$\theta = 1.05 \text{ (cte de Arrhenius para } \theta \text{ y } b \text{)}$$

$$a' = 1.13 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg total de DBO sul removido}}$$

$$b = 0.05 \text{ (d}^{-1}\text{)}$$

Concentración de Oxígeno Disuelto en el licor mezclado = 2 mg/l
 $= 0.083 \text{ a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\beta = 0.91$$

$$N_0 = 1.5 \text{ kg } C_2 / 11 \text{ g-hl}$$

Nota: Los valores de t_d y b son los datos para $b y b'$ respectivamente.

Calculos para diseño

1) Tasa aproximada de recirculación

$$r_0 = \frac{X}{X_r - X} = \frac{2500}{100 - 2500} = 0.5$$

2) Concentración de DGC, g SSV en b, mezclas de agua cruda con recirculado.

$$S_0 = (S_F + r_0 S_0) / 1 + r_0 = 260 + 0.5(50) / 1.5 = 190 \text{ mg/l}$$

$$X_0 = (X_F + r_0 X_r) / 1 + r_0 = 167 + 0.5(7500) / 1.5 = 2611.33 \text{ mg/l}$$

3) Gasto de entrada al reactor.

$$Q_0 = Q_F(1 + r_0) = 80(1 + 0.5) = 120 \text{ l/s}$$

4) Calculo de la temperatura del agua en el tanque (TW)

a. Para condiciones de agua cruda con $T = 25^\circ \text{C}$

$$T_F = 21.5^\circ \text{C} (70.7^\circ \text{F})$$

$$T_0 = 25.0^\circ \text{C} (77.0^\circ \text{F})$$

$$G_0 = 2.738 \text{ MGD}$$

$$T_{w0} = \frac{2500 \text{ (Hp)} T_0 + G_0 T_F (3.475 \times 10^5)}{2500 \text{ (Hp)} + G_0 (3.475 \times 10^5)}$$

4.1) Masa Removida

$$\text{Kg DQO}_r/\text{día} = G_0 (S_0 - S_e) (0.0864) = (120)(140)(0.0864) = 1451.52$$

4.2.) Estimación preliminar de potencia

$$\begin{aligned} \text{Potencia} &= G_0 (S_0 - S_e) (0.0864) / 15^* \\ &= 120 (140) (0.0864) / 15 = 96.768 \text{ Hp.} \end{aligned}$$

* Correcal 15-23 Kg DQO_r/Hp - día.

$$\begin{aligned} T_W &= \frac{2500(96.76)(77) + (2.738)(70.7)(3.475 \times 10^5)}{2500(96.76) + (2.738)(3.475 \times 10^5)} = \frac{1.939 \times 10^8}{1.1939 \times 10^6} \\ &= 71.97^\circ \text{F} = 22.21^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Para temperaturas mínimas:

$$\begin{aligned} T_F &= 18.75^\circ \text{C} (65.75^\circ \text{F}) \\ T_a &= 7.0^\circ \text{C} (44.6^\circ \text{F}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_W &= \frac{2500(96.76)(44.6) + (2.738)(65.75)(3.475 \times 10^5)}{2500(96.76) + (2.738)(3.475 \times 10^5)} \\ &= 61.46^\circ \text{F} \Rightarrow 16.36^\circ \text{C} \end{aligned}$$

5.6) Efectos de la temperatura del agua sobre las constantes cinéticas.

$$k_w = k_{20^\circ \text{C}} e^{T_w - 20}$$

$$\theta = 1.03 \text{ para } k$$

$$\theta = 1.05 \text{ para } b \text{ y } b'$$

$$\begin{array}{lll} \text{para } T = 22.21 & K = 22.21 = 0.0102 & K = 16.36^\circ\text{C} = 0.0086 \\ T = 16.36 & k_d = 0.0712 & k_d = 0.053 \\ & b' = 0.055 & b' = 0.041 \end{array}$$

6.0) Tiempo de retención hidráulica.

$$T_{RH} = \frac{S_0 - S_e}{K \times (S_0 - S_1)} = \frac{190 - 50}{(0.0086)(2500 \times (50 - 18.86))} = 0.200 \text{ días} \approx 5.01 \text{ hr}$$

7.0) Cálculo de la relación F/M (en base a DGC sal)

$$F/M = \frac{S_0}{X \cdot T} = \frac{190}{(2500)(0.200)} = 0.365$$

8) Cálculo de DGC en el efluente respectivo bifásico.

$$\begin{array}{l} \text{Para } T_w = 22.21 \\ K_w = 0.0102 \end{array}$$

$$S_e = \frac{S_0}{(1 + K \times X \cdot T)} = \frac{190}{(1 + 0.0102 \times 2500 \times 0.200)} = 30.01 \text{ mg/l}$$

9) Cálculo del volumen del reactor

$$V = Q_0 t = (120)(0.200)(24.0) = 2166.0 \text{ m}^3$$

10) Requerimiento de Oxígeno

$$\begin{array}{l} \text{kg } O_2/\text{día} = a' (S_0 - S_e) Q_0 + b' \times X \times V \\ T_w = 22.21 = 1.013(190)(120) + 0.055(2500)(2166.0) \\ = 1938.16 \end{array}$$

$$T_w = 16.36 = 1.13(140)(120)(0.0864) + 0.04(2.5)(2166.9)$$

$$= 1862.32$$

11) Crecimiento de Biomasa

$$\Delta X_U = Y (S_0 - S_e) Q_0 - k_d X \cdot V$$

$$T_w = 22.21 = 0.311(140)(120)(0.0864) - (0.0712)(2.5)(2166.9)$$

$$= 65.71 \text{ kg SSV/día}$$

$$T_w = 16.36 = 0.311(140)(120)(0.0864) - (0.053)(2.5)(2166.9)$$

$$= 164.3 \text{ kg SSV/día}$$

12) Cálculo de la tasa de Recirculación

$$r = \frac{Q_c Y - \Delta X_U - Q_c X_F}{Q_0 (X_1 - X)}$$

Para $T_w = 22.21$

$$r = \frac{(120)(2.5)(86.4) - 65.71 - (120)(0.167)(86.4)}{120(86.4)(7.5 - 2.5)}$$

$$r = 46.5\%$$

Para $T_w = 16.36$

$$r = \frac{(120)(2.5)(86.4) - 164.3 - (120)(0.167)(86.4)}{120(86.4)(7.5)}$$

$$r = 46.3\%$$

* Se tomará en cuenta el valor inicial de 50% = 7.5

13) Determinación de caudales

a) Recirculación $Q_r = r Q_F = (0.50)(80) = 40 \text{ l/s}$

b) De la mezcla $Q_{rm} = Q_F (1+r) = (80)(1+0.5) = 120 \text{ l/s}$

c) De la purga para $T_w = 22.21^\circ\text{C}$.

$$Q_w = \frac{\Delta X_U + Q_c X_F - Q_c X_c}{(X_U - X)}$$

$$T_w = 22.21 = \frac{65 \cdot 71 + 120(0.167)(86.4) - (120)(0.040)(86.4)}{(7.5 - 0.040)} = 1382.446$$

$$Q_w = 185.31 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$T_w = 16.36 = \frac{164.3 + 120(0.167)(86.4) - (120)(0.040)(86.4)}{(7.5 - 0.040)}$$

$$Q_w = 198.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

d) Del estante $Q_e = Q_c = 120 \text{ l/s}$

14) Balance de material para sólidos no volátiles
(se asume que el 80% son SSV)

$$\begin{aligned} X_{N.V.} \cdot Q_e &= \frac{Q_F X_{N.V.F} + Q_r X_{N.V.r}}{Q_e} \\ &= \frac{(80)(38.16) + (40) \left(\frac{7500}{0.25} \right) (0.20)}{120} = 2502.3 \end{aligned}$$

En la Resiculación

$$X_{N.V.r} = \frac{Q_F (r+1) (X_{N.V.})}{Q_r} = \frac{(80) (1.5) (2502.3)}{40} = 7507$$

15) Carga de sólidos (SSV) en la purga.

$$T_w = 22.21$$

$$SSV_w = Q_w X_r = (185.31) (7.5) = 1389.8$$

$$T_w = 16.36 = Q_w X_r = (198.5) (7.5) = 1488.75$$

16) Cálculo del tiempo de retención celular.

$$\theta_c = \frac{XV}{Q_w X_r - G_e X_e}$$

$$T = 22.21^\circ \text{C} = \frac{(2500)(2166.9)}{(185.31)(7500) - (120)(40)(86.4)} =$$

$$\theta_c = 5.55 \text{ días}$$

$$T = 16.36 = \frac{(2500)(2166.9)}{(198.5)(7500) - (120)(40)(86.4)} =$$

$$\theta_c = 5.04 \text{ días}$$

Requerimientos de Oxígeno para energía

$$\text{Req } O_2/\text{día} = a'(S_0 - S_e)(G_0 + b') \cdot X \cdot \theta_c \cdot V$$

$$T_w = 22.21 = 1.13 (140)(120)(0.0864) + 0.055(2.5)(2166.9)$$

$$= 1938.16$$

$$T_w = 16.36 = 1.13 (140)(120)(0.0864) + 0.04(2.5)(2166.9)$$

$$= 1862.32$$

Requerimientos de potencia

$$\left[\frac{20}{\theta_c} \cdot (1.024)^{T-20} \right] \left[\frac{P_0 - C_1}{9.2} \right]$$

$$T_w = 22.21 = \left[0.83(1.024)^{22.21} \right] \left[\frac{6.7 - 2.0}{9.2} \right] = 0.4488$$

$$T_w = 16.36 = \left[0.83(1.024)^{16.36} \right] \left[\frac{6.7 - 2.0}{9.2} \right] = 0.3889$$

Requerimientos de Potencia

$$T_w = 22.21 \quad H_p = \frac{\text{kg } O_2 / \text{hr}}{N_0 * 0.4469} = \frac{1938.16/24}{1.5 * 0.4469} = 120.5$$

$$\text{Nivel de potencia} = \frac{120.5}{2166.9} = 0.0556$$

$$T_w = 16.36 \quad H_p = \frac{\text{kg } O_2 / \text{hr}}{N_0 * 0.4469} = \frac{1862.32/24}{1.5 * 0.3889} = 133.0$$

$$\text{Nivel de potencia} = \frac{133.0}{2166.9} = 0.0613$$

profundidad del tanque = 9m

$$\Delta = \frac{V}{h} = \frac{2166.9}{4} = 541.7 \text{ m}^2$$

Para la Unidad II se realiza de la misma forma, solamente se cambia el gasto que sera de 150 /seg.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Diseño y Construcción de un Dispositivo Experimental para Evaluar Procesos Biologicos de Tratamiento de Aguas Residuales.
D.D.F./ Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica México, D.F. 1981. (Referencia # 1)
- 2.-Introduction to Wastewater Treatment Processes.
R.S.Ramalho
Academic Press, New York 1977. (Referencia # 2)
- 3.-Consideraciones Cineticas e Hidraulicas sobre diversos Modelos de Tratabilidad de Aguas Residuales.
Flores Herrera Francisco.
Division de Estudios de Posgrado U.N.A.M. 1980
- 4.-Wastewater Engineering.
Metcalf and Eddy.
Inc. Mc. Graw-Hill 1972
- 5.-Ingenieria Sanitaria de las Aguas Residuales.
Fair Geyer & Okun.
Editorial Limusa 1979
- 6.-Evaluación de Sistemas Biologicos de Tratamiento.
Laboratorios A.B.C. de Química Investigación y Analisis.
Fase II 1982
- 7.-Manual de Tratamiento de Aguas Negras.
Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.
Editorial Limusa 1983