

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

28  
40

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS NEGRAS DE CIUDAD UNIVERSITARIA



EXAMENES  
PROFESIONALES

TESIS QUE PRESENTA  
OSCAR F. CALAHORRA FUERTES  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

MEXICO, D.F. 1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# I N D I C E

I.- Explicación de la Necesidad de la Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residua - les de Ciudad Universitaria .....	1
II.- Estudio de las Aguas Negras de Ciudad Univer - sitaria .....	3
III.- Funcionamiento de la Planta .....	20
IV.- Métodos Propyectados .....	29
V.- Normas de Calidad del Agua Para Riego .....	49
VI.- Conclusiones .....	57
VII.- Recomendaciones .....	60
Bibliografía .....	61

EXPLICACION DE LA NECESIDAD DE LA CONSTRUCCION  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DE CIUDAD UNIVERSITARIA .

La planta de tratamiento de Ciudad Universitaria se construyó en 1982, debido a la necesidad de optimizar el aprovechamiento del agua potable de las fuentes con que cuenta la Universidad, que consisten en tres pozos localizados en sus propios terrenos.

La gran demanda de agua y la imposibilidad de obtener nuevas fuentes de abastecimiento, originaron la idea de reusarla, previo tratamiento, para el riego de las áreas verdes.

Con el tratamiento de las aguas residuales se logrará un considerable ahorro en el consumo de agua y se controlará la contaminación provocada por los desechos líquidos provenientes de sus instalaciones.

Para la realización de este proyecto se tomaron en cuenta varios factores, como son: la tecnología disponible, los criterios de calidad del agua para su reuso y los efectos de su utilización en la ecología del lugar.

Además, con esta planta de tratamiento se podrá realizar la investigación necesaria en este campo, realizar estudios para evaluar los daños a la salud y al medio ambiente por el reuso del agua, y se implantarán los criterios de calidad del agua de acuerdo con la tecnología de control y monitoreo analítico de las aguas tratadas, ya que hay poca información relacionada con la implantación de estos procesos de tratamiento biológico a las caracte-

rísticas particulares de las aguas residuales de C.U.

Los estudios previos fueron realizados en 1978 y 1979. Con los datos de la calidad del agua que se obtuvieron se diseñó la planta de tratamiento, que consta de un sistema integrado por tres procesos de tipo biológico, que son:

- Lodos Activados
- Biodiscos
- Torre Biológica Empacada ó Biofiltro

Estos procesos pueden operarse en forma simultánea, en paralelo ó cada uno de ellos independientemente.

La demanda de agua para riego se ha calculado en  $3460 \text{ m}^3\text{-día}$  (40 l/s), cantidad que puede proporcionarse con el tratamiento de las aguas residuales. La capacidad de la planta es de 40 l/s.

La reutilización de las aguas residuales permite lograr un doble aprovechamiento de los volúmenes de agua subterráneas y disminuir el volumen de agua primaria.

Ayuda a prevenir la contaminación del agua al ser tratada y disminuye la carga de DBO en el residuo que va a la alcantarilla.

La relación entre las características del agua y del suelo es el factor básico para el buen desarrollo de las plantas y, por lo general, su comportamiento es satisfactorio al utilizar este tipo de agua.

Se puede decir que la reutilización del agua constituye el aprovechamiento óptimo de este recurso.

## ESTUDIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE C.U.

Para conocer las características de las aguas residuales se realizan tres tipos de análisis: los físicos, los químicos y los biológicos.

Estos análisis varían desde precisas determinaciones de los parámetros químicos hasta determinaciones cualitativas de los parámetros físicos y biológicos.

En la escala de la calidad del agua se encuentran indicados los objetivos y normas para un agua potable y los requisitos de calidad para efluentes de aguas residuales, así como los criterios de calidad para su uso en balnearios, para pesca, riego y fábricas.

La composición del agua se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que en ella se encuentran. Dado que la composición y la concentración varían con la hora del día, día de la semana y época del año, se debe tener cuidado cuando se va a realizar un proyecto para interpretar correctamente los resultados obtenidos. La composición típica del agua residual se presenta en la Tabla I.

Uno de los parámetros más importantes para conocer el grado de contaminación del agua es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO identifica de una manera completa la carga biodegradable contenida en el agua residual. Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Es importante conocer la utilización progresiva que hacen del oxígeno los elementos contaminantes, como una medida de la cantidad de materia oxidable, como un medio para predecir el

PARAMETRO	MEDIA (mg/l)
pH	6-8
Temperatura	15-20
DBO <sub>5</sub>	100-500
Sólidos Totales	800-1500
Sólidos Disueltos Totales	750-1400
Sólidos Suspendidos	1.5-10
N orgánico	5-40
N amoniacal	0.5-40
Fósforo	5-150
Coliformes	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup> NMP/100 ml
Grasa y Aceite	20-150
SAAM	3-40
Conductividad	400-2500 mhos/cm
Calcio	10-85
Manganeso	10-150
Sodio	40-400
Azufre	15-150
Cloro	40-500
Arsénico	0.005
Boro	0.3-2.5
Cadmio	0.005
Cobre	0.006-0.5
Plomo	0.003-0.3
SAR	3-8.5

TABLA I. Parámetros Para Aguas de Desecho Municipal.  
Ref. (5)

progreso de la descomposición aeróbica, su grado de autopurificación y como una escala de comparación entre los diferentes procesos de tratamiento.

Conociendo los valores máximos de la DBO y sus variaciones durante el día, se diseñan las instalaciones de tratamiento y se mide la eficacia de estos procesos.

### CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL EN C.U.

Para conocer las características del agua residual a tratar se realizaron muestreos en las tres descargas que desfogan en la alcantarilla ubicada en Copilco y Cerro del Agua, dos de estas descargas provienen de la Ciudad Universitaria y la otra, de la colonia Copilco.

Se realizaron cinco muestreos para conocer las variaciones del gasto y de la calidad del agua, de acuerdo a las normas de los métodos estándar.

Se analizaron en total 22 parámetros en cada una de las muestras tomadas en Noviembre de 1980.

Los datos de los gastos obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

PROCEDENCIA DEL AGUA	GASTO PROMEDIO		
	MAX	MED	MIN
Ala de Humanidades	30.8	21.2	10.8
Ala Técnica y Campos Deportivos	14.6	10.4	6.4
Colonia Copilco	3.0	2.5	2.1
GASTO TOTAL	48.4	34.1	19.3

TABLA II.- Gasto de las Aguas Residuales. Ref.(5)

De los datos obtenidos en los muestreos se vió que los caudales mínimos se presentan durante las primeras horas de la mañana, y que los caudales pico se presentan por lo general a medio día y al atardecer, cuando llega el agua utilizada en las instalaciones a la planta de tratamiento ( Ver Gráficas I y II ).

Estos resultados son lógicos ya que a medio día es cuando mayor actividad hay en C.U. y las instalaciones deportivas son utilizadas. El gasto máximo se presenta entre las 12 y 18 hrs.

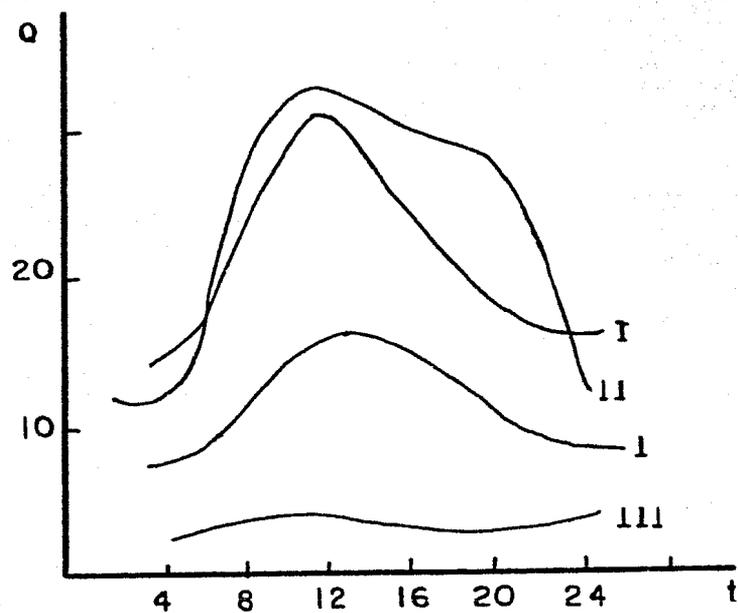
La variación de la DBO sigue la variación del gasto. En C.U. el  $DBO_5$  tiene dos máximos, uno a las 12 hrs. y el otro a las 20 hrs.

Los datos obtenidos en todos los muestreos se agruparon en la Tabla III.

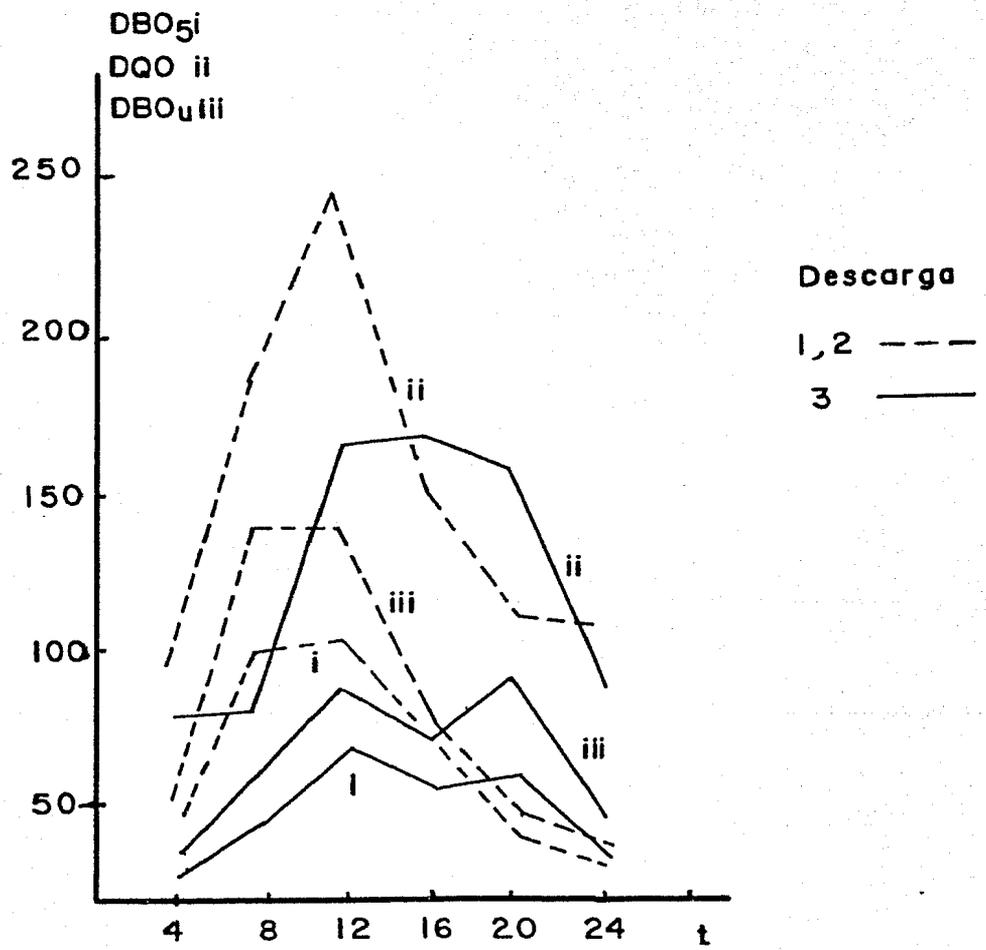
Con estos datos , y de su comparación con los obtenidos para las aguas residuales en la República y en Estados Unidos, se concluye que:

- La carga orgánica de las aguas de C.U. es baja.
- Existe gran cantidad de material no biodegradable debido a la relación DQO/DBO .
- Hay gran concentración de cloruros.
- Alto contenido de Nitrógeno total.
- La alcalinidad no corresponde a la de las aguas débiles.

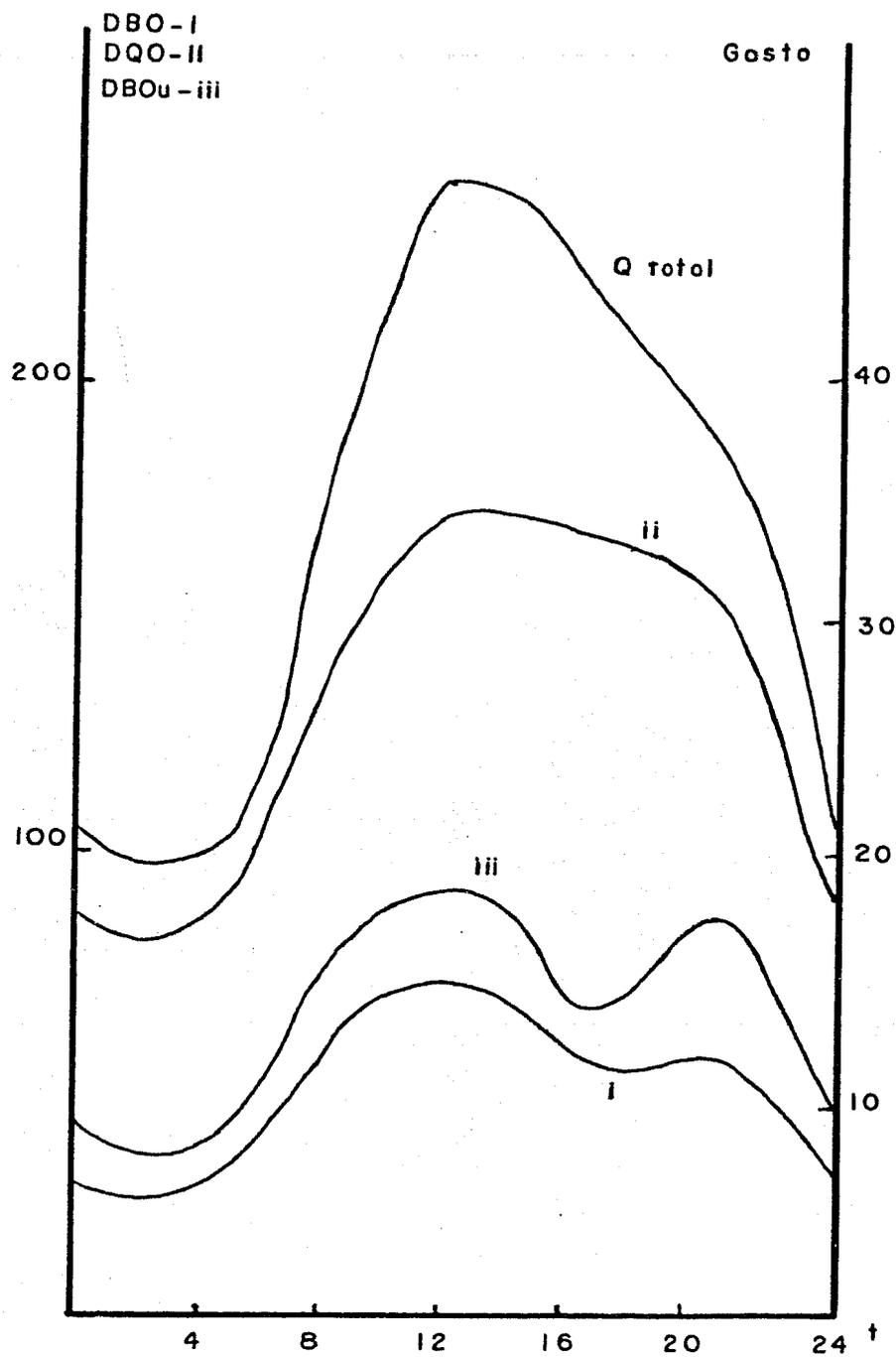
Los análisis no indicaron presencia de compuestos tóxicos.



GRAFICA I.- VARIACION DEL GASTO DEL AGUA RESIDUAL  
ANALISIS POR DESCARGA. Ref. (5)



GRAFICA II.- VARIACION DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL  
ANALISIS POR DESCARGA, Ref. (5)



GRAFICA III - VARIACION DEL GASTO Y CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL. ANALISIS GLOBAL. Ref (5)

PARAMETRO	MAX	MIN	MED
Cloruros	139	66	100
Alcalinidad	358	158	264
N Total	80	11.4	46
Dureza	160	150	160
P-PO <sub>4</sub>	3.48	0.31	2.44
N-NH <sub>3</sub>	41	4.2	28
Oxígeno Disuelto	5.17	1.68	2.72

Promedios de las muestras tomadas el 3 y 4 de nov. 1980

pH	7.5 - 8.4
Temperatura	15.5 - 18 C
Sólidos Totales	448
DBO <sub>5</sub>	53
DBO <sub>u</sub>	69
DQO	136

La concentración está dada en mg/lt excepto en pH y T.

TABLA III . RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOQUIMICOS  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE C.U. Ref. (8)

CONSTITUYENTES	MEDIA EUA	NORTE	CENTRO	SUR	D.F.	C.U.
pH	-	7.1	7.2	7.1	7.4	8.1
Temperatura	-	15	26	25	-	17
Sólidos Totales Totales	1200	1545	1132	978	1015	448
Sólidos Disueltos Totales	500	1526	816	740	858	416
Sólidos Disueltos Fijos	300	974	524	445	472	306
Sólidos Disueltos Volátiles	200	105	292	295	386	110
Sólidos Suspendidos Totales	200	219	316	238	159	32
Sólidos Suspendidos Fijos	50	105	88	78	64	25
Sólidos Suspendidos Volátiles	150	114	228	160	95	7
Sólidos Sedimentables	20	1.6	8.7	7.2	1.8	-
DBO	200	229	326	159	245	135
DQO	500	462	684	307	587	186
Nitrógeno total	40	40	41	27	20	46
Nitrógeno Orgánico	15	18	12	12	11	28
Nitrógeno Amoniacal	25	23	29	16	9	18
Fósforo total	10	23	13	17	9	2.5
Fósforo Orgánico	3	-	-	-	-	-
Cloruros	50	-	-	-	-	100
Alcalinidad	100	-	-	-	-	264
Grasa y Aceite	100	46	60	58	97	-
DBO : N : P	100:28.7		100:17:23		100:8:4	100:87:4.7
DQO/DBO	2.5	2.0	2.1	1.9	2.4	2.5

TABLA IV. COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES. Ref. (5,7)

## PRUEBAS DE TRATABILIDAD .

El primer paso para determinar los parámetros básicos de diseño de sistemas de tratamiento, es caracterizar el desecho. Se deben obtener datos estadísticamente representativos de los principales parámetros orgánicos e inorgánicos.

La composición orgánica del desecho generalmente se expresa en términos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Total de Oxígeno (DTO), ó en términos del Carbón Orgánico Total (COT).

Los parámetros inorgánicos dan estimaciones relativas del potencial de toxicidad ó de los efectos dañinos que estos contaminantes podrían tener a lo largo del tratamiento biológico. Además de estos dos tipos de parámetros se debe conocer la cantidad de Nitrógeno y Fósforo necesarios para satisfacer a los nutrientes, las sustancias inhibidoras como cloruros, sulfatos, metales pesados y demás sustancias tóxicas.

El contenido de N y P en las aguas residuales está relacionado con la cantidad de materia orgánica presente en el agua de la siguiente manera:

	DBO	:	N	:	P
Relación recomendada	100	:	5	:	1
Relación de las aguas en C.U.	100	:	87	:	4.7

Para lograr una correcta operación de la planta es necesaria la realización de análisis físico-químicos de control, porque al utilizar el agua tratada para riego se debe buscar que el agua siempre tenga la misma calidad.

Se deben llevar a cabo muestreos y mediciones para conocer cómo está operando la planta, con la frecuencia y métodos que sean necesarios, ya que este control analítico permitirá conocer la eficiencia de cada uno de los procesos biológicos y las causas de un mal funcionamiento, pudiendo de esta manera hacer las correcciones necesarias.

Los análisis que se le harán al agua en la planta de tratamiento de C.U. se pueden clasificar en dos tipos:

I.- Físicos:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Temperatura
- Residuos sólidos
- Gasto

II.- Químicos:

- Oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Cloro residual
- Cloruros
- Alcalinidad y acidéz
- Nitrógeno amoniacal

La preservación de las muestras tomadas se hará de acuerdo a los métodos para análisis químico para agua y aguas residuales de la FWPCA.

#### PARAMETROS FISICOS .

pH.- La medida del pH es una de las pruebas más comunes e importantes que se realizan en una planta de tratamiento.

El pH es una medida de la acidéz ó alcalinidad de una sustancia. El control del pH será una medida de la calidad del efluente.

En la planta de tratamiento el pH será determinado mediante el método electrométrico, cuyo principio básico es la determinación de la actividad de los iones hidrógeno mediante medidas potenciométricas usando un electrodo de vidrio y otro de referencia.

Se debe conocer su valor en el influente, dentro de los tres procesos biológicos y después de la sedimentación.

Conductividad Eléctrica.- La conductividad mide la concentración de electrolitos debido a la conductancia tan alta que tienen los iones hidrógeno y oxidrilo, y se relaciona con la concentración de sólidos disueltos.

La prueba se realizará con un Puente de Wheatstone, que mide el paso de la corriente entre dos electrodos de  $1 \text{ cm}^2$  de área separados 1 cm, las unidades son micromhos/cm.

La medida se hará cada ocho horas en el influente y en el efluente. El valor debe ser menor de 4  $\mu\text{mho/cm}$ .

Turbiedad.- La turbiedad del agua es causada por la materia sólida suspendida y la materia orgánica e inorgánica finamente dividida. Es una expresión de las propiedades ópticas que causan la dispersión y absorción de la luz.

Para su determinación se utilizará un turbidímetro para bajas turbiedades, llamado Nefelómetro, que tiene una fuente de luz y varios detectores fotoeléctricos que indican la intensidad de la luz dispersada hasta 90° del camino de la luz incidente.

Las muestras se tomarán después de los tanques sedimentadores y de los filtros de arena.

Temperatura.- La temperatura afecta directamente la eficiencia de los procesos biológicos ya que influye en el metabolismo y la reproducción de los microorganismos y en la transferencia de los gases.

La medición de la temperatura se hace en el campo y se mide con un termómetro de laboratorio con una precisión de un décimo de grado.

La temperatura se tomará en el sitio donde se hagan los demás muestreos.

Gasto.- Es necesario conocer el gasto del agua residual que llega a la planta y que pasa por cada uno de los procesos, para poder hacer una evaluación correcta de la operación de la planta y poder comparar los resultados.

También permite conocer la eficiencia de las unidades de bombeo, los procesos biológicos, la sedimentación y cloración.

El gasto se medirá en los canales Parshall por medios electromecánicos y electrónicos.

Residuos Sólidos.- La prueba de los sólidos sedimentables y suspendidos es usada para medir la efectividad de la sedimentación. Las pruebas de sólidos totales y volátiles proporciona la información necesaria acerca del tipo, concentración y cantidad de sólidos contenidos en el agua.

Las muestras se tomarán en el influente y en el efluente de cada uno de los procesos. La comparación de estos dos valores permite conocer la eficiencia de los procesos, ya que indica la cantidad de sólidos que fueron removidos.

#### PARAMETROS QUIMICOS .

Oxígeno Disuelto.- El nivel de oxígeno disuelto en las aguas de desecho depende de la actividad bioquímica y fisicoquímica de las sustancias y elementos que hay en el agua.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua debe mantenerse en los tres procesos biológicos. Para su determinación se usará el método de electrodos de membrana, que se basa en la velocidad de difusión del oxígeno a través de una membrana.

Las muestras se tomarán en cada uno de los procesos y después de la sedimentación, durante el periodo de carga máxima. En los lodos activados se tomará una muestra en el sistema de

retorno de lodos.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno.**- La determinación de la DBO es la de mayor significado dentro de los análisis aplicados a las aguas residuales.

Se define como la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los organismos responsables de la oxidación de la materia orgánica. La DBO representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua, es además el parámetro más utilizado para evaluar la eficiencia de los procesos.

Esta prueba se basa en determinaciones sucesivas del oxígeno disuelto que es consumido por la materia orgánica.

Las muestras deben tomarse diariamente antes y después de cada uno de los procesos.

**Demanda Química de Oxígeno.**- La prueba de la DQO valora todo lo que es oxidable y no solamente a la materia orgánica. Su obtención es más rápida que la prueba de DBO.

La prueba se basa en el hecho de que, prácticamente todos los compuestos orgánicos se oxidan para producir  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  por la acción de oxidantes fuertes.

Las muestras se tomarán en el mismo lugar que las de la DBO.

**Cloro Residual.**- La concentración del cloro se debe determinar frecuentemente para asegurar que el contenido de cloro residual se mantenga constante.

La aplicación del cloro se lleva a cabo en el cárcamo de agua tratada para asegurar en el efluente un grado de desinfección adecuado.

El método que se utilizará es el amperométrico, que es una adaptación del principio polarográfico.

Las muestras se tomarán en el efluente cada hora.

Cloruros.- Los cloruros se deben a combinaciones del cloro con otros elementos; son sustancias inorgánicas que se encuentran en la orina.

Para su determinación se empleará el método de Moler.

Las muestras se tomarán en el efluente diariamente.

Alcalinidad y Acidéz.- La alcalinidad y la acidéz del agua es la medida de la capacidad del agua para reaccionar con los iones hidrógeno y oxidrilo respectivamente.

Valores de pH entre 3.5 y 9 indican la presencia de ácidos ó bases débiles que no interfieren en el crecimiento de los microorganismos.

Las muestras se tomarán en el influente una vez al día.

Nitrógeno Amoniacal.- La presencia de amoniaco en las aguas de desecho indican una contaminación reciente. Se produce en gran proporción por una desaminación de compuestos que contienen nitrógeno orgánico y por la hidrólisis de la urea.

Su determinación se hará en el influente y en el efluente ya que es muy importante conocer sus valores en forma precisa debido a que interfieren directamente en los procesos biológicos.

PARAMETRO	SITIO DE MUESTREO
pH	III, IV, VI, VII, X, XII
Conductividad	I, XIII
Turbiedad	I, IX
Temperatura	III, VI, XI
Cloruros	XIII, XIV
Cloro residual	XIV
Gasto	I, III, VI, XI
O. D.	III, VI, XI
DBO	III, VI, XI
DQO	III, VI, XI
Sólidos totales	III, IV, VI
Alcalinidad	I, IV, VII, XII
N-Amoniacal	IV, VII, XII

#### NOMENCLATURA

I	Medidor Parshall
II	Desarenador
III	Tanque aereador
IV	Sedimentador secundario (lodos activados)
V	Cárcamo para aguas de lavado y pluviales
VI	Biodisco
VII	Sedimentador secundario (biodisco)
VIII	Cárcamo para la recirculación de lodos
IX	Filtros de arena
X	Cárcamo doble para la recirculación de lodos
XI	Biofiltro
XII	Sedimentador secundario (biofiltro)
XIII	Cárcamo de aguas tratadas
XIV	Clorador
XV	Cárcamo de aguas negras
XVI	Edificio

## FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento se encuentra ubicada al nororiente de la Ciudad Universitaria, en la calle de Cerro del Agua y el Circuito Interior, en el terreno donde anteriormente existía un tanque para amortiguar los escurrimientos pluviales.

Las aguas residuales provienen de las instalaciones de la Ciudad Universitaria y de la Colonia Copilco el Alto.

La planta realiza un tratamiento de tipo secundario y consta de las siguientes instalaciones:

- Rejillas
- Cárcamo de Aguas Residuales
- Desarenador
- Medidores Parshall
- Tanque Aereador (Lodos Activados)
- Biodiscos
- Torre Biológica (Biofiltro)
- Tanques Sedimentadores
- Sistema de Filtros de Arena
- Cárcamo de Recirculación de Lodos
- Cárcamo de Bombeo
- Caja Partidora del Biofiltro
- Cárcamo de Aguas Tratadas

Ver Diagramas I y II.

Localización de la planta

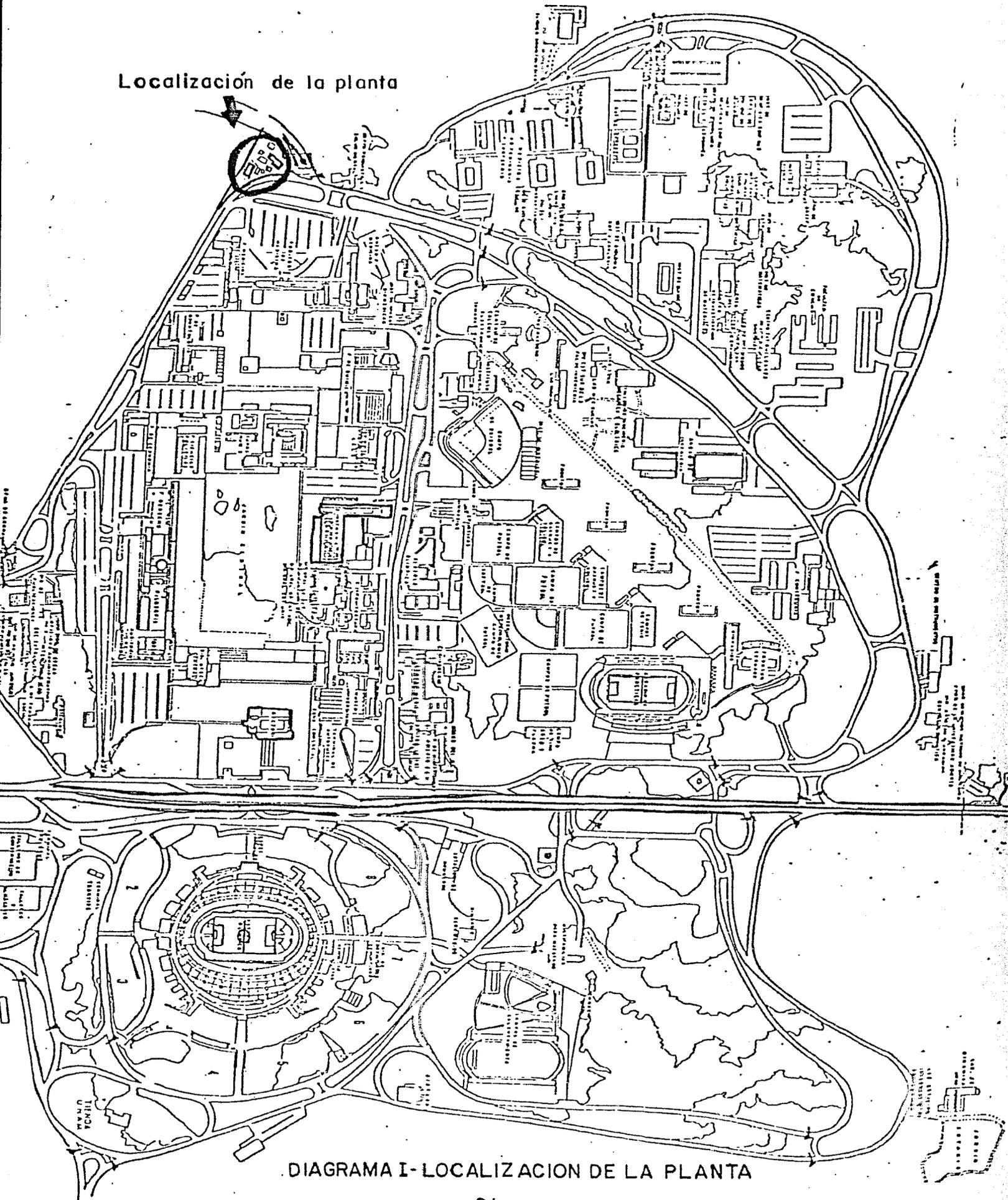


DIAGRAMA I- LOCALIZACION DE LA PLANTA

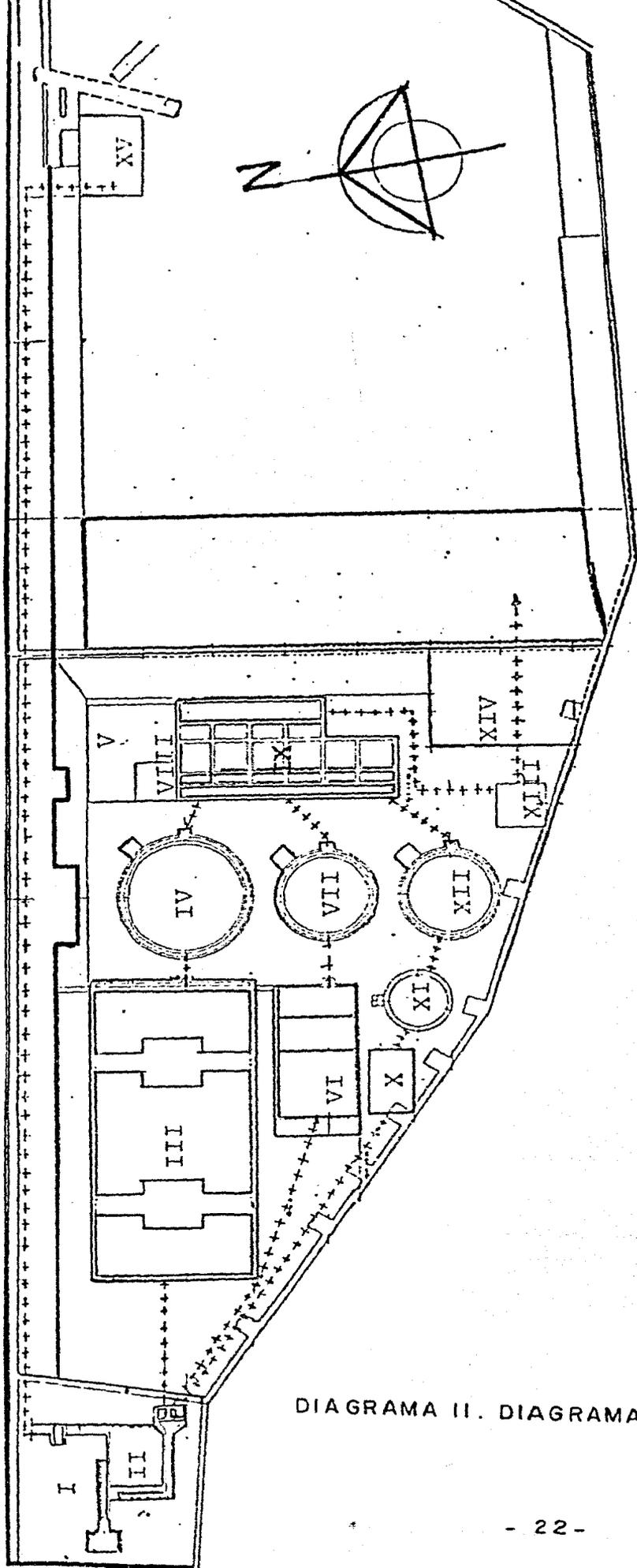


DIAGRAMA II. DIAGRAMA DE FLUJO

El recorrido del agua en la planta de tratamiento es el siguiente:

El agua llega al tanque regulador de tormentas por tres tuberías, pasando al cárcamo de aguas negras a través de las rejillas. El volúmen del cárcamo es de  $57.3 \text{ m}^3$ .

De allí el agua es bombeada por tres bombas hasta el desarenador que se encuentra al otro lado de la planta, pasando antes por un canal Parshall de concreto donde el gasto es medido mediante un sistema eléctrico.

El medidor Parshall es un canal de sección conocida por el cual, al pasar un cierto gasto, este se puede conocer midiendo el tirante en un punto.

El desarenador sirve para sedimentar las arenas y sólidos gruesos que pasaron por las rejillas. El tanque desarenador es de forma rectangular, con el fondo circular, lo que facilita la utilización de las rastras. La arena es recolectada por las rastras que la llevan hacia la orilla del tanque, donde es extraída mediante un tornillo sinfin, de donde pasa a una caja de almacenamiento para su disposición final.

Después de esta sedimentación de sólidos gruesos el agua pasa por un canal en el que se reparte a los tres procesos secundarios mediante un sistema de compuertas. En este canal derivador se encuentran tres medidores Parshall de acero, en los que el gasto es medido mediante un equipo electrónico.

Lodos Activados.-

Las unidades estructurales para el proceso de lodos activa-

dos son: un tanque de aereación también llamado reactor, un tanque de sedimentación secundaria y un sistema para el retorno de lodos.

El tanque de aereación es rectangular, con 17.75 m de largo, 8.8 m de ancho y 3.5 m de profundidad, y un volúmen de almacenamiento de 546.70 m<sup>3</sup>. Su capacidad es de 20 l/s.

El agua llega al tanque por gravedad y es aereada mediante un sistema mecánico que consta de dos aereadores superficiales de aspas, las cuales están colocadas en dos puentes que cruzan al tanque a lo ancho. Al final del recorrido del agua, en el extremo opuesto al que entró el agua, se encuentra un vertedor del cual pasan, por medio de una tubería, las aguas aereadas al sedimentador secundario, y de éste a los filtros de arena.

#### Torre Biológica Empacada.-

Esta torre biológica ó biofiltro está constituida por: la torre, el medio filtrante, el equipo rociador, la caja partidora de aguas crudas y tratadas, cárcamos de bombeo y sedimentador secundario.

La torre donde se encuentra el medio filtrante es un tanque cilíndrico de 3.05 m de diámetro y 6.64 m de altura. Su capacidad es de 10 l/s.

En el centro de la torre se encuentra una columna dentro de la cual sube una tubería por donde pasa el agua a tratar. El agua es bombeada desde un cárcamo que mide 3.85 m de largo, 2 m de ancho y 2 m de profundidad, con un volúmen de 15.4 m<sup>3</sup>, que se encuentra entre el canal Parshall y la torre biológica,

hasta el equipo rociador.

El agua llega al extremo superior de la columna donde se encuentra el sistema rociador, que es un cilindro de acero de donde salen 2 tubos de 1.35 m. de largo y 10 cm. de diámetro, los cuales están colocados horizontalmente. El agua sale por 4 orificios en cada tubo, haciéndola girar, logrando de esta manera una adecuada distribución del agua.

El medio filtrante está formado por módulos de láminas de PVC corrugadas que miden 60 cm. de largo, 60 cm. de ancho y 120 cm. de profundidad. Estas láminas tienen este diseño para proporcionar una mayor área de contacto entre el agua y la materia orgánica que se adhiere a ellas, además, gracias al acanalamiento cruzado, se logra un mayor recorrido del agua y se facilita el paso del aire a lo largo de toda la torre. Para lograr una mejor circulación del aire, la torre tiene dos orificios en la parte inferior. Los módulos proveen una gran área de contacto, entre 140 y 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

A la salida del agua de la torre, se encuentra otro cárcamo de bombeo de las mismas dimensiones que el anterior en el que el agua se bombea al tanque sedimentador.

Al lado de la torre está la caja partidora de lodos que mediante un mecanismo manual se pueden tener las siguientes posibilidades: pasar el agua tratada con lodos al primer cárcamo de bombeo para ser recirculados por el equipo rociador, ó pasar el agua al segundo cárcamo y de ahí ser bombeada al sedimentador.

## Biodiscos.-

La unidad de biodiscos está constituida por discos rotatorios, un tanque y el sedimentador secundario.

Los discos rotatorios están contruidos de una placa de polietileno de alta densidad colocados paralelamente, y que giran alrededor de una flecha de acero. Los discos tienen un diámetro de 3.63 m. y una longitud total de 9.23 m. , y estan colocados en tres módulos separados 30 cm. uno de otro.

El tanque de retención donde están instalados los discos es rectangular con una profundidad de 2.15 m. y un volumen de 92.5 m<sup>3</sup>, la capacidad es de 10 l/s. El agua pasa por el tanque entrando en contacto con los biodiscos, que se encuentran sumergidos 2/5 partes en el agua.

Los discos son movidos mediante un motor de velocidad regulable; se necesita que el movimiento sea muy lento para que haya buen contacto entre el agua y la capa biologica que se encuentra en el biodisco.

Los biodiscos se encuentran protegidos por una cubierta de fibra de vidrio que tiene 8 ventanillas y 2 puertas.

El agua fluye a lo largo del tanque por efecto de la gravedad y al salir pasa al sedimentador. En este proceso no se recirculan los lodos.

En todos los casos la disposición final de los lodos es el drenaje.

## Sedimentadores Secundarios.-

Después de cada uno de los procesos biológicos se encuentra un tanque sedimentador, donde se separan los sólidos sedimentables del agua. En los lodos activados estos sólidos son los fló-

culos, en los biodiscos y la torre biológica los sólidos son, en su mayoría, las películas microbianas formadas en la superficie de contacto que se desprenden al aumentar de espesor.

El tanque es circular y tiene una columna en el centro, dentro de la cual se encuentra la tubería del agua del efluente y sirve de soporte a un puente metálico donde están colocadas las rastras que transportan los lodos sedimentados hasta una tolva de donde pasan al cárcamo de bombeo de lodos para ser bombeados al drenaje ó recirculados.

Existe un desnatador en la superficie sujeto a la estructura de las rastras. La caja de natas está conectada directamente al drenaje.

Las dimensiones de los tanques sedimentadores son: 4.05 m de altura y 4.75 m de diámetro en los biodiscos y la torre biológica. El tanque sedimentador de los lodos activados tiene la misma altura, pero el diámetro es de 6.75 m.

El agua sale por la parte superior del tanque a través de un vertedor, de donde pasa a los filtros de arena.

#### Filtros de Arena.-

Después de los sedimentadores secundarios el agua proveniente del tanque aerador y de los biodiscos pasa a los filtros. Este sistema está constituido por seis unidades.

El medio filtrante consiste de antracita, arena y grava, el cual se encuentra sobre unas losas porosas equipadas con boquillas que permiten el paso del agua.

Bajo las losas el agua es transportada a un tanque de 1.8 m de largo, 0.9 m de ancho y 5.6 m de altura. De allí pasa a cuatro

tanques que tienen un vertedor por el cual el agua llega a una tubería y, de allí, al cárcamo de aguas tratadas. Existen otros dos tanques diferentes a los cuatro anteriores, que corresponden al sistema de biofiltro donde el medio filtrante sólo es grava y arena. De allí el agua pasa al cárcamo de aguas tratadas.

Sobre la cama de filtración están construídas unas canaletas que llevan al drenaje el agua utilizada durante el lavado de los filtros.

Las dimensiones de los filtros son 12.2 m de largo, 6.3 m de ancho y 5.65 m de altura.

El proceso de cloración del agua se realiza en el cárcamo de aguas tratadas.

Los procesos de tratamiento biológico se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos responsables del desdoblamiento de la materia orgánica de las aguas residuales.

Estos procesos pueden ser aerobios ó anaerobios. Los procesos aerobios son:

- Lodos Activados
- Filtros Percoladores
- Biodiscos
- Lagunas de Estabilización Aereadas

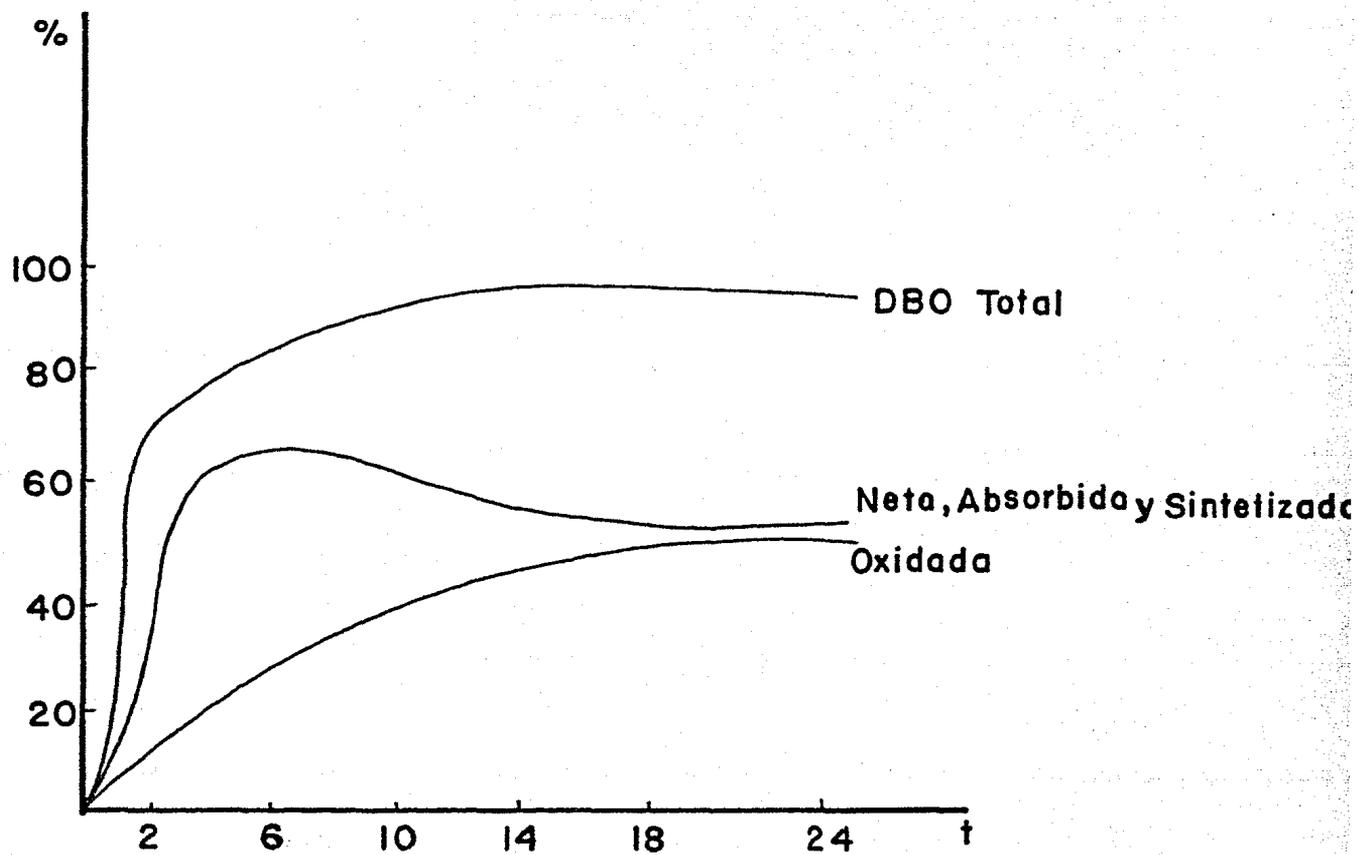
Los procesos anaerobios son:

- Lagunas de Aereación
- Fosa Séptica
- Tanque Imhoff

#### Tratamiento Biológico Aerobio.-

Los procesos biológicos utilizados en el tratamiento de las aguas residuales de C.U. se clasifican en sistemas con medio biológico suspendido y con medio biológico fijo. Los primeros son, básicamente, los procesos de lodos activados que utilizan microorganismos en suspensión para oxidar la materia orgánica soluble y coloidal, en presencia de oxígeno molecular. Los segundos proporcionan suficiente área superficial para el desarrollo microbiano. Este desarrollo, en forma de película biológica, contiene a los microorganismos responsables del tratamiento.

Reduccion de la DBO



GRAFICA III. PROCESO DE PURIFICACION BIOLOGICA

DEL AGUA. Ref (8)

Los sistemas de película biológica fija se dividen en sistemas con medio biológico estacionario (filtros percoladores, torre biológica) y con medio biológico en movimiento (biodisco).

Estos procesos no se pueden concebir y practicar como una sola operación, sino como una combinación de operaciones interrelacionadas, que difieren en su acomodo, en el tiempo de retención y características de la masa biológica.

Mediante estos procesos se proporcionan condiciones aerobias a las bacterias contenidas en el agua residual para que mediante un proceso de oxidación-enzima transforme la materia orgánica en compuestos finales simples.

Es muy importante la transferencia de las impurezas del agua residual a la biomasa por contacto interfacial. Esta operación es rápida y efectiva si la interfase entre el líquido y la biomasa es grande, si entre una y otra etapa el gradiente de concentración de las sustancias que se van a remover es grande y si las películas obstructivas líquidas y las concentraciones de las sustancias interferentes no se desarrollan durante la interfase.

También es muy importante la calidad del contacto, que se logra por la oxidación de la materia orgánica y la síntesis de nuevas células.

Según Buswell (7), la calidad del contacto se preserva debido a la tendencia de la materia disuelta a cambiar de concentración de modo que disminuye la tensión superficial en la película ó flóculo biótico. Se adsorben las sustancias que se concentran en la superficie y son descompuestas por el proceso enzimático de las células agrupadas en el flóculo, son sintetizadas células

las nuevas y se producen los productos finales que van a las aguas ó escapan a la atmósfera.

El tratamiento biológico comparte su efecto con la autopurificación biológica de las aguas receptoras, en las que los sólidos suspendidos se depositan en el fondo del río para descomponerse lentamente en el medio bental, mientras que las sustancias disueltas son oxidadas rápidamente en el agua sobrenadante. En la gráfica III se muestra el proceso de la purificación biológica.

#### Lodos Activados.-

Este proceso fue desarrollado a principios de siglo en Inglaterra por Arden y Lockett.

En el proceso de lodos activados las bacterias encuentran un medio adecuado para su desarrollo, estas bacterias al crecer se van agrupando en pequeños núcleos llamados flóculos ó zoogreas microbianas. Los flóculos son una masa de organismos vivos, alimentos y material de desecho donde se realiza la actividad biológica.

El objetivo principal de este proceso es el proporcionar un medio uniforme a los flóculos, los cuales transforman de manera natural los desechos orgánicos suspendidos en el agua ó en estado coloidal en compuestos simples. En estas unidades, las bacterias son los microorganismos más importantes ya que son los que descomponen la materia orgánica.

Para lograr una eficiente remoción de los desechos orgánicos se deben formar grandes concentraciones de flóculos, proveyendo así una gran área de contacto entre los microorganismos y el agua residual, acelerando de esta manera la actividad bio-

lógica.

Así como se busca que las bacterias descompongan a la materia orgánica lo más rápido posible, también se debe tratar que formen un flóculo adecuado ya que de ello depende su velocidad de sedimentación. También se debe controlar que el flóculo no aumente mucho de tamaño ya que se obstaculiza la difusión de nutrientes hacia el interior del flóculo.

Al añejarse, aumenta también la proporción de células muertas y productos de desecho disminuyendo su capacidad para oxidar las sustancias adsorbidas.

Para lograr mantener la actividad bacteriana de tipo aerobio, se debe proporcionar oxígeno al agua, ya sea en forma mecánica mediante agitación ó neumática inyectando aire comprimido.

Los requerimientos de oxígeno en los flóculos se suple por la adsorción del aire introducido al agua ó absorbido de la atmósfera; por lo tanto, al agitar mecánicamente las unidades de lodos activados la absorción de oxígeno atmosférico en la interfase aire-agua generalmente satisface las necesidades de oxígeno requerido por las bacterias.

El tiempo de contacto se determina mediante el diseño hidráulico (capacidad del tanque aereador), y es aproximadamente de cuatro a seis horas para agua de procedencia doméstica, y de seis a veinticuatro para la industrial, dependiendo del grado de contaminación.

Para favorecer la formación de flóculos y acelerar su crecimiento, los flóculos ya formados son retornados desde el tanque sedimentador hasta la entrada al tanque aereador, obteniendo

así la concentración necesaria para que exista una transferencia adecuada de las impurezas del agua a los flóculos.

La recirculación ayuda a distribuir la carga de impurezas aplicada a la unidad y dá uniformidad al agua, evitando que puedan afectar a las bacterias los cambios bruscos en las cargas. Después de que se logra la estabilidad de los lodos, éstos son desechados en lugar de recircularse.

En este proceso se puede llegar a eliminar aproximadamente el 90% del DBO para cargas menores a 0.3 Kg de DBO/Kg (0.3 lb/lb) de sólidos suspendidos para aguas de tipo doméstico. Para cargas mayores la eficiencia es difícil de predecir.

Alrededor de 3.2 a 3.8 Kg de DBO/10 m<sup>3</sup> (30 a 35 lb/1000 ft<sup>3</sup>) pueden ser tratados con 2000 ppm de sólidos suspendidos. Para un DBO de 110 Kg/450 Kg (240 lb/1000 lb) de sólidos suspendidos se elimina del 85 al 95% por hora de aereación y con una DQO de 4.5 Kg (10 lb).

Por lo general, la carga de DBO está relacionada con la capacidad del tanque aereador. La carga de DBO está limitada a 5.6 Kg/10 m<sup>3</sup> (35 lb/1000 ft<sup>3</sup>).

Al iniciar el mezclado existe gran demanda de oxígeno y hay tendencia a formar lodo esponjoso (bulking).

La capacidad de las bombas de retorno de lodos debe ser grande para que no se produzcan pérdidas de sólidos de lodos con el efluente. Cuando existen valores altos de DBO debe aumentarse la recirculación de lodos.

En este proceso se extrae gran cantidad de sólidos al final.

así la concentración necesaria para que exista una transferencia adecuada de las impurezas del agua a los flóculos.

La recirculación ayuda a distribuir la carga de impurezas aplicada a la unidad y dá uniformidad al agua, evitando que puedan afectar a las bacterias los cambios bruscos en las cargas. Después de que se logra la estabilidad de los lodos, éstos son desechados en lugar de recircularse.

En este proceso se puede llegar a eliminar aproximadamente el 90% del DBO para cargas menores a 0.3 Kg de DBO/Kg (0.3 lb/lb) de sólidos suspendidos para aguas de tipo doméstico. Para cargas mayores la eficiencia es difícil de predecir.

Alrededor de 3.2 a 3.8 Kg de DBO/10 m<sup>3</sup> (30 a 35 lb/1000 ft<sup>3</sup>) pueden ser tratados con 2000 ppm de sólidos suspendidos. Para un DBO de 110 Kg/450 Kg (240 lb/1000 lb) de sólidos suspendidos se elimina del 85 al 95% por hora de aereación y con una DQO de 4.5 Kg (10 lb).

Por lo general, la carga de DBO está relacionada con la capacidad del tanque aereador. La carga de DBO está limitada a 5.6 Kg/10 m<sup>3</sup> (35 lb/1000 ft<sup>3</sup>).

Al iniciar el mezclado existe gran demanda de oxígeno y hay tendencia a formar lodo esponjoso (bulking).

La capacidad de las bombas de retorno de lodos debe ser grande para que no se produzcan pérdidas de sólidos de lodos con el efluente. Cuando existen valores altos de DBO debe aumentarse la recirculación de lodos.

En este proceso se extrae gran cantidad de sólidos al final.

## Biodiscos.-

Las unidades de biodiscos consisten en una serie de delgados discos paralelos entre sí que giran alrededor de una flecha, parcialmente sumergida en el agua.

El principio de su funcionamiento consiste en formar una capa de microorganismos que se pegan a la superficie de los discos. Estos microorganismos adsorben la materia orgánica presente en el agua residual.

Los discos, al girar, llevan consigo una delgada película de agua a través del aire, donde ocurre la transferencia del oxígeno necesario para que los microorganismos realicen su actividad. Al ir creciendo éstos, el espesor de la capa aumenta, y el oxígeno se consume en la superficie, provocando la aparición de una región anaeróbica en toda la zona de contacto. Conforme la capa aumenta, la materia orgánica absorbida se metaboliza antes de que pueda llegar hasta los microorganismos situados cerca de la superficie de los discos, perdiendo su capacidad de adherirse a él. Con el paso del agua, esta gruesa capa, llamada sólidos añejos, es arrastrada, dando comienzo al crecimiento de una nueva.

Los desechos generados por la sintetización de la materia orgánica se sedimentan en el fondo del tanque, y son separados del agua en un tanque sedimentador.

El biodisco proporciona al mismo tiempo soporte para los microorganismos, un mecanismo de aereación donde se puede regular el tiempo de exposición y una gran área de contacto entre el agua de desecho y los organismos.

La alta concentración de organismos activos y la posibilidad de ajustar la velocidad de giro dan un buen tratamiento a las aguas que tienen gran concentración de desechos.

Los biodiscos se construyen en módulos, generalmente entre 2 y 6, colocados en serie, dependiendo de la calidad del influente y de los requerimientos de calidad del efluente.

Para mover los biodiscos es necesaria poca potencia gracias a que el material plástico del que está hecho es muy ligero y a la poca velocidad con la que se mueven.

El costo inicial de los biodiscos en comparación con los lodos activados, es de 20 a 30 % mayor, pero en la operación y el mantenimiento de los biodiscos, el costo es mínimo.

Los biodiscos trabajan con cargas de 40-60 lt/m<sup>2</sup>/día y con una carga orgánica máxima de 210 gr de DBO/m<sup>2</sup>/día para el primer módulo.

#### Torre Biológica Empacada.-

La base del funcionamiento de la torre biológica empacada es la misma que el de los filtros percoladores, de hecho, se puede considerar a la torre biológica como un filtro percolador donde, a diferencia de éste, el lecho filtrante a través del cual debe pasar el agua residual, no son piedras sino unas placas de PVC llamadas vinilcore.

El principio del filtro percolador es absorber y oxidar la materia orgánica coloidal disuelta en el agua mediante una película biológica ó capa viscosa de microorganismos que se encuentran adheridos al lecho filtrante, los cuales desdoblán estas substancias en compuestos simples.

Los filtros percoladores actúan como oxidadores y coladores.

Por medio del lecho filtrante se trata de proporcionar la mayor área de contacto posible entre la biomasa y el agua residual y una gran longitud de recorrido, ya que de esto depende la cantidad de materia orgánica removida y hace posible la concentración de nutrientes, favoreciendo la acción enzimática.

La capa de microorganismos se desprende constantemente al ir creciendo, ya que la parte que se encuentra en contacto con el medio filtrante se vuelve anaerobia y pierde su propiedad de poder pegarse a la superficie. Los residuos que contienen hongos y protozoarios se acumulan en la superficie de donde deben ser extraídos.

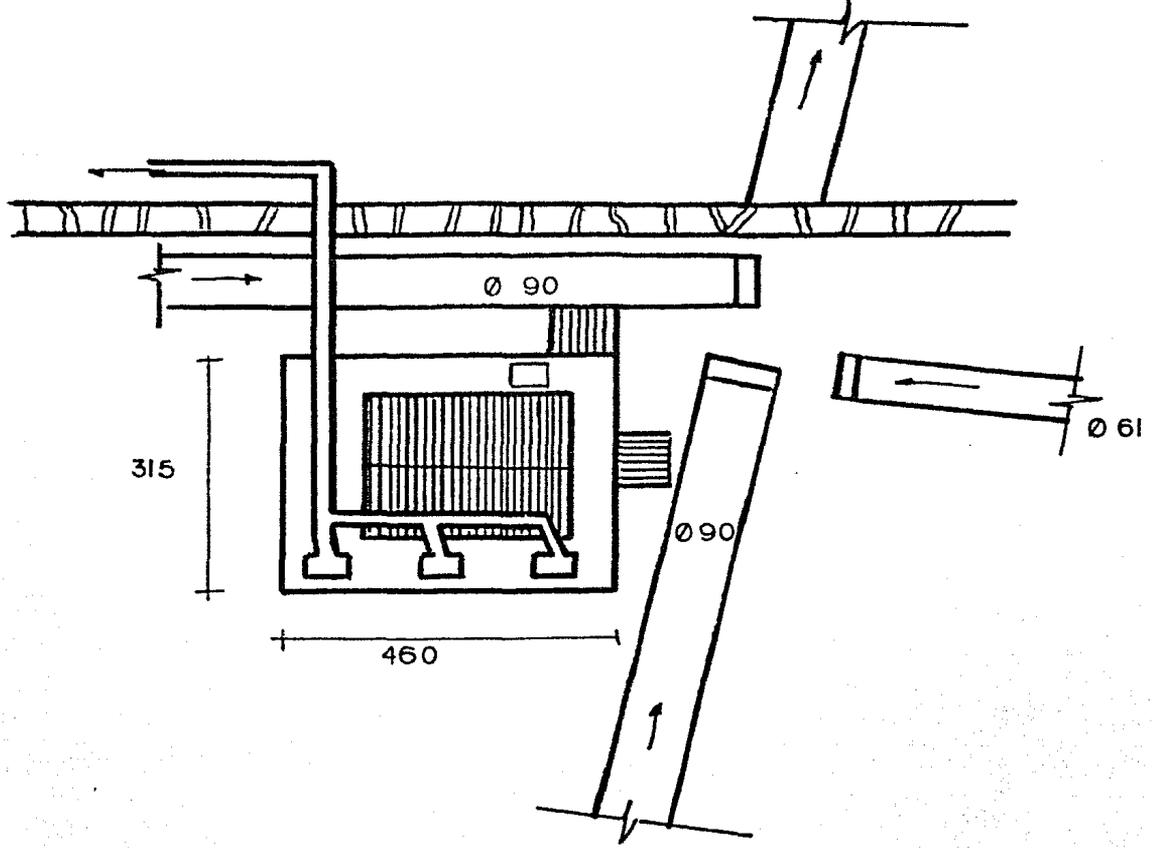
Como todos los procesos de tipo secundario en la torre biológica es necesario colocar un sedimentador primario donde se eliminen la arena y la grasa, así como también es necesario eliminar ciertas sustancias que interfieren con el crecimiento de las bacterias y en la oxidación de la materia orgánica, como lo son el cromo, el zinc y el arsénico.

Cuando los valores de DBO son bajos no es muy conveniente recircular el agua ya que no se mejora la eficiencia, que es de un 75 %. Cuando los valores de DBO son grandes, la recirculación sí mejora la eliminación de DBO, pero se debe tener cuidado al hacer esto, ya que influye en el crecimiento de la capa de microorganismos, pudiendo llegar a erosionar algunas partes. Si la carga de DBO es pequeña se pueden aplicar nutrientes para mejorar el proceso. La relación óptima entre DBO: N:P es 100:5:1 . Se puede agregar ácido fosfórico ó amoniaco, otros nutrientes necesarios en menor cantidad son el potasio, calcio, magnesio, manganeso, azufre y cobre.

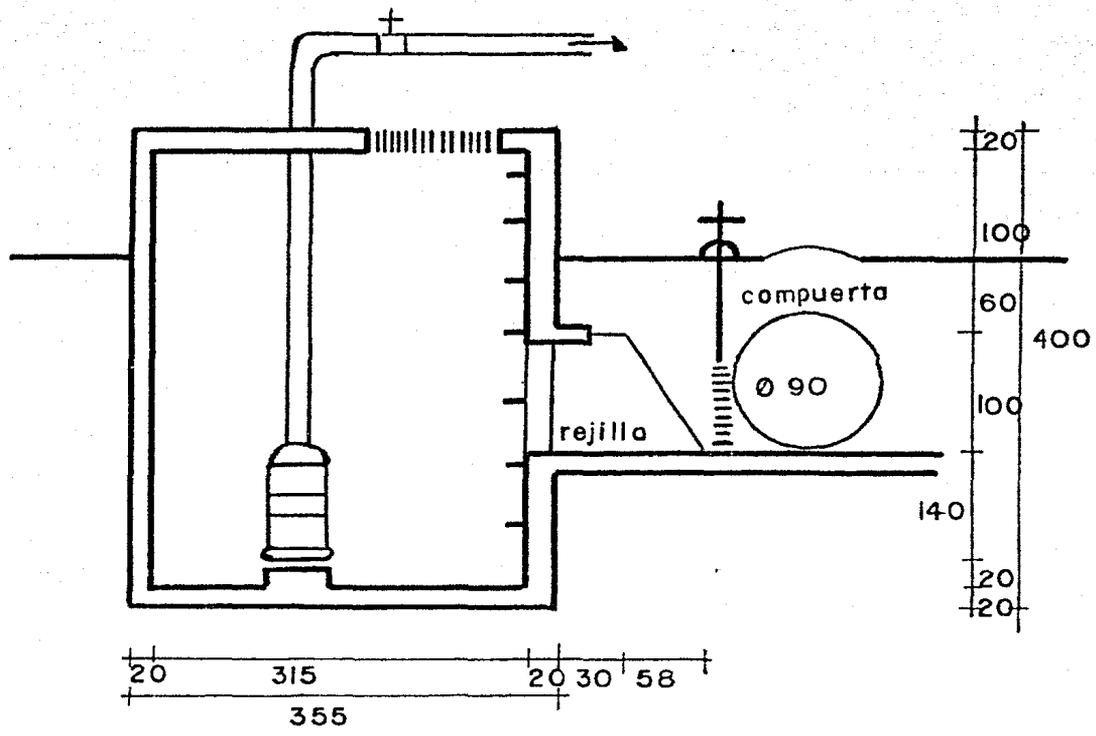
Los estudios realizados indican que cargas hidráulicas entre 0.9 a 1.7 lt/seg/m<sup>2</sup> (1.5 a 2 gpm/ft<sup>2</sup>) producen la mayor eliminación de DBO por cada 28 m<sup>3</sup> (1000 ft<sup>3</sup>). La carga hidráulica mínima debe ser de 0.5 lt/seg/m<sup>2</sup> (0.75 gpm/ft<sup>2</sup>).

Las diferencias principales entre la torre biológica empacada y un filtro percolador típico son la altura y el área de contacto. En la torre biológica la altura varía entre 2 y 5 m, y en los filtros percoladores, de 1 a 3 m. El área de contacto que proporciona la torre biológica es de 86 a 125 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (26 a 37 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>), y el área de contacto que proporciona el filtro percolador con grava entre 4 y 10 cm de diámetro es de 110 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (10 m<sup>2</sup>/ft<sup>2</sup>) de superficie.

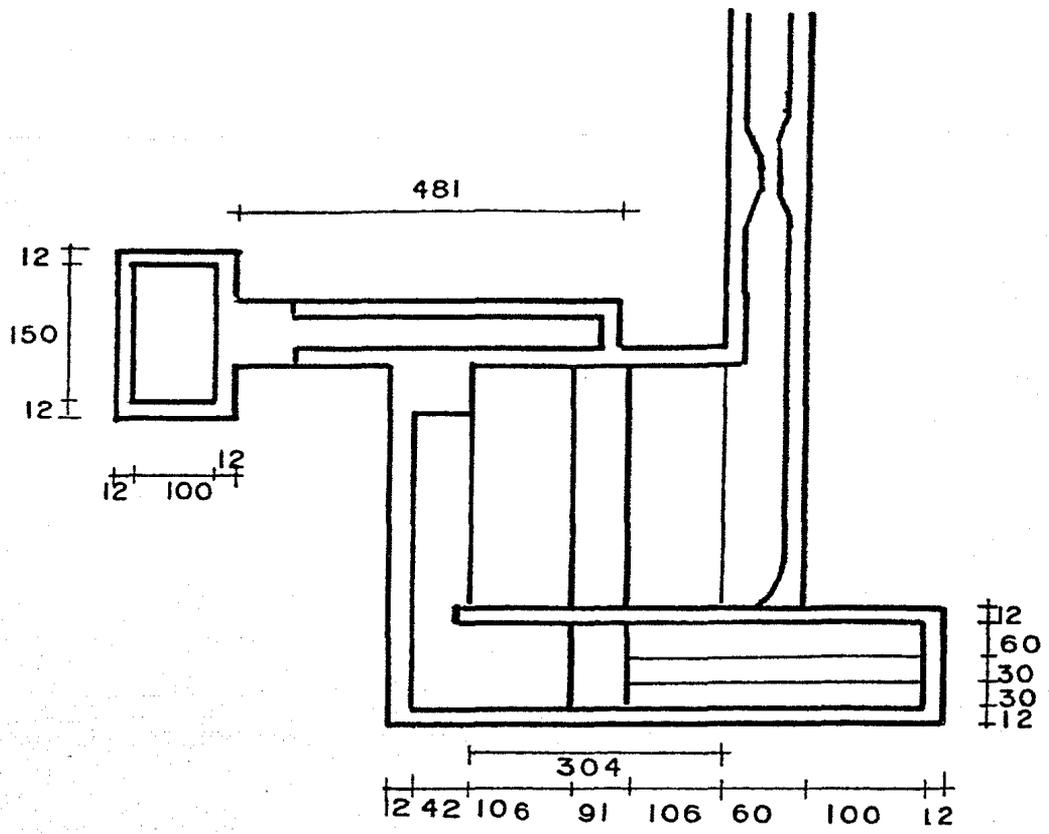
Los filtros percoladores generalmente trabajan para cargas hidráulicas de 900 a 9000 lt/m<sup>2</sup>/día (1 a 10 mgad) y cargas orgánicas de 110 a 370 DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>-día.



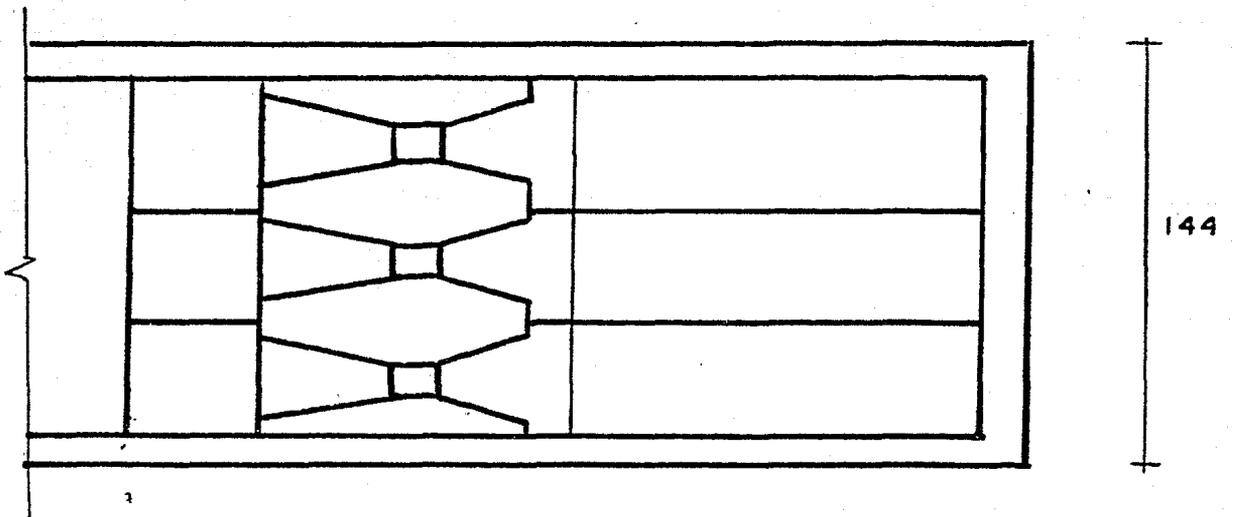
PLANTA



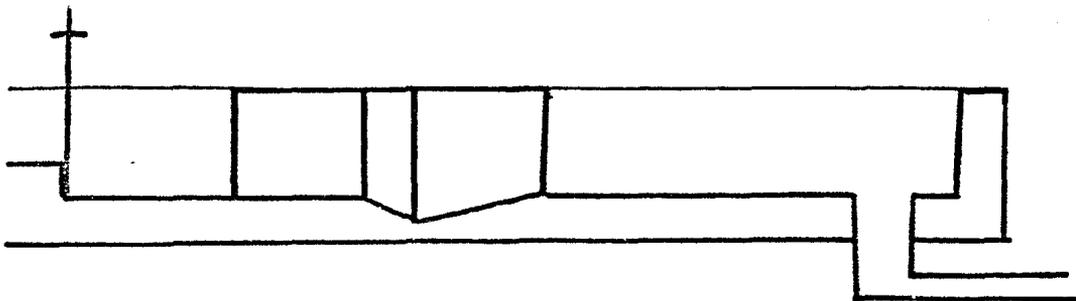
CARCAMO DE AGUAS NEGRAS

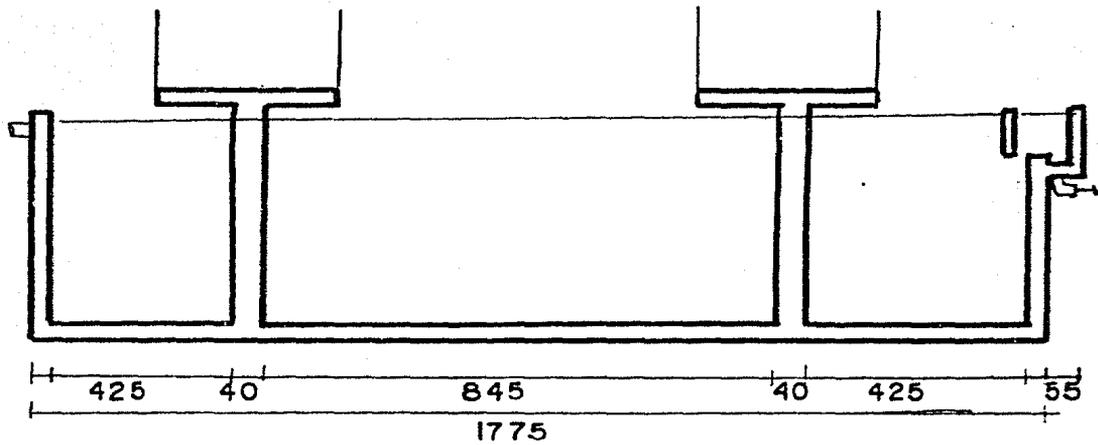
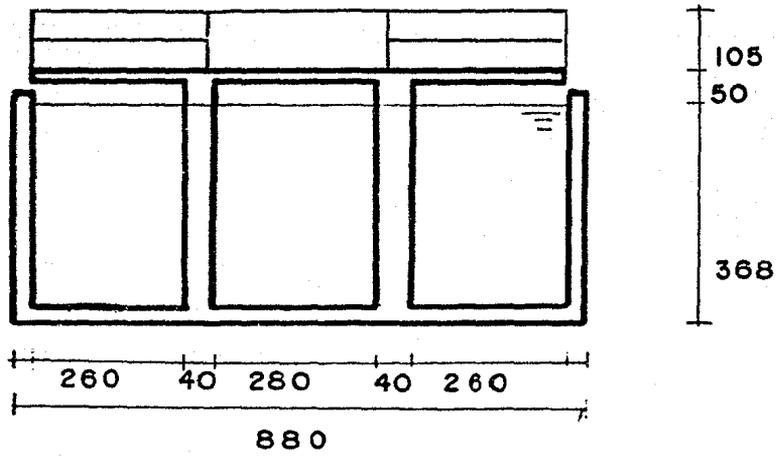
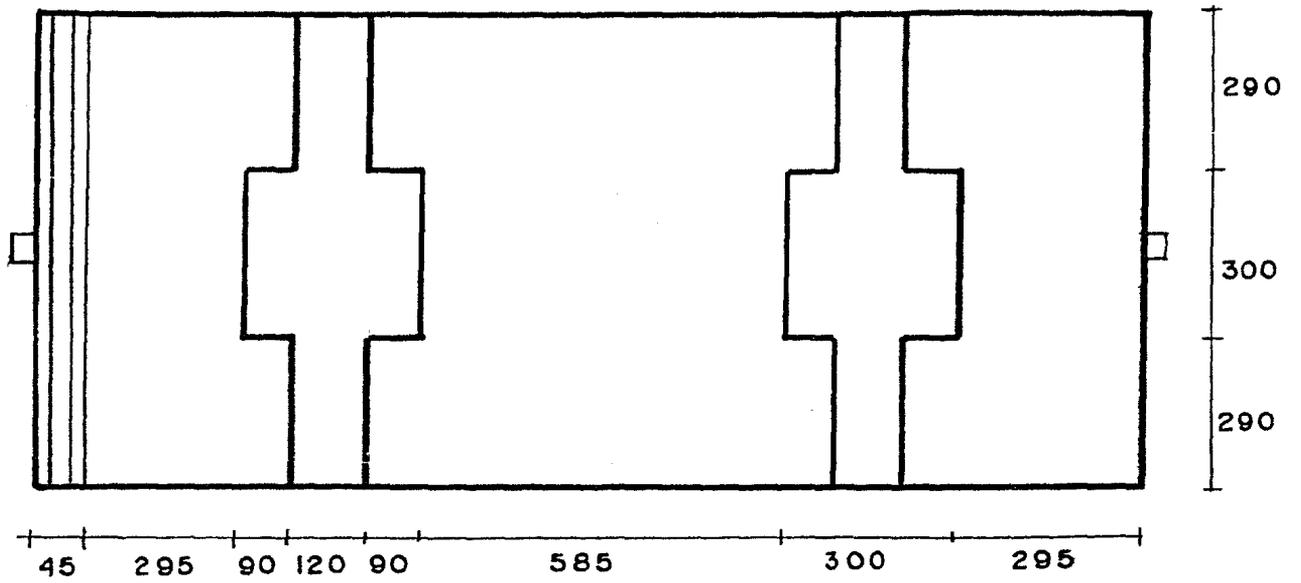


DESARENADOR

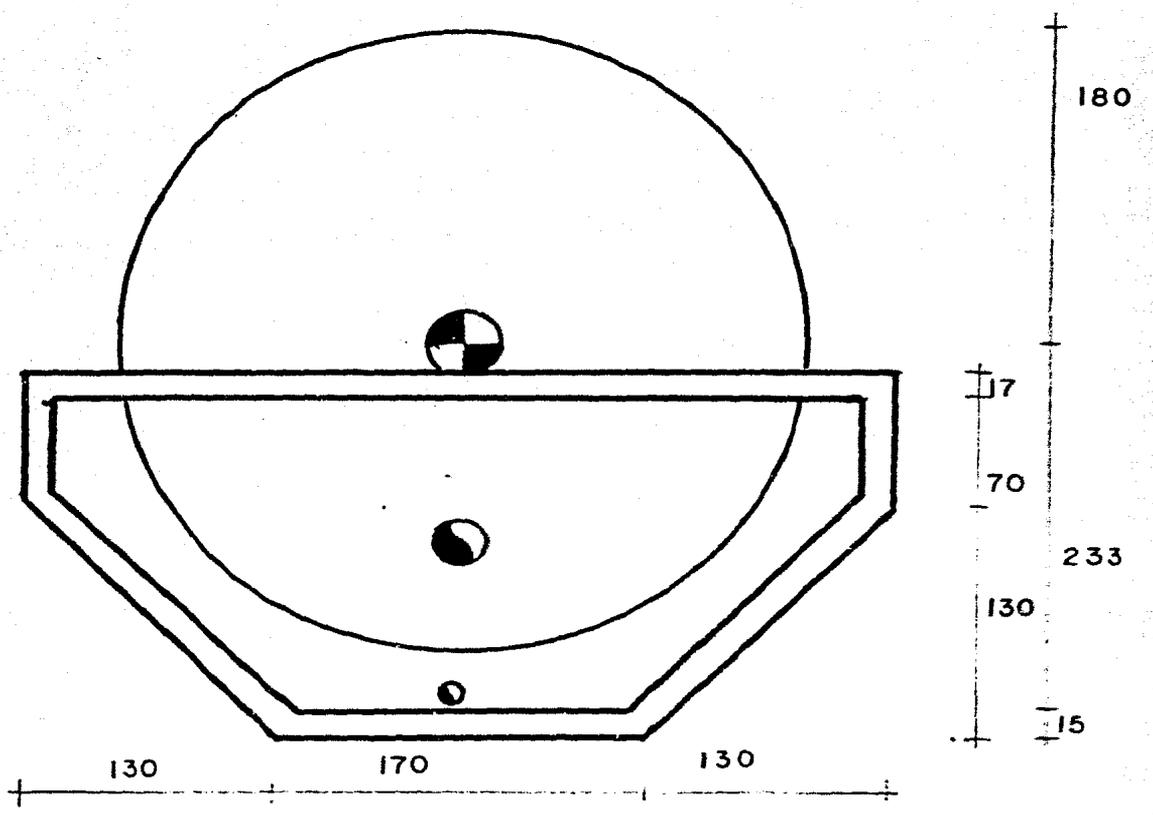
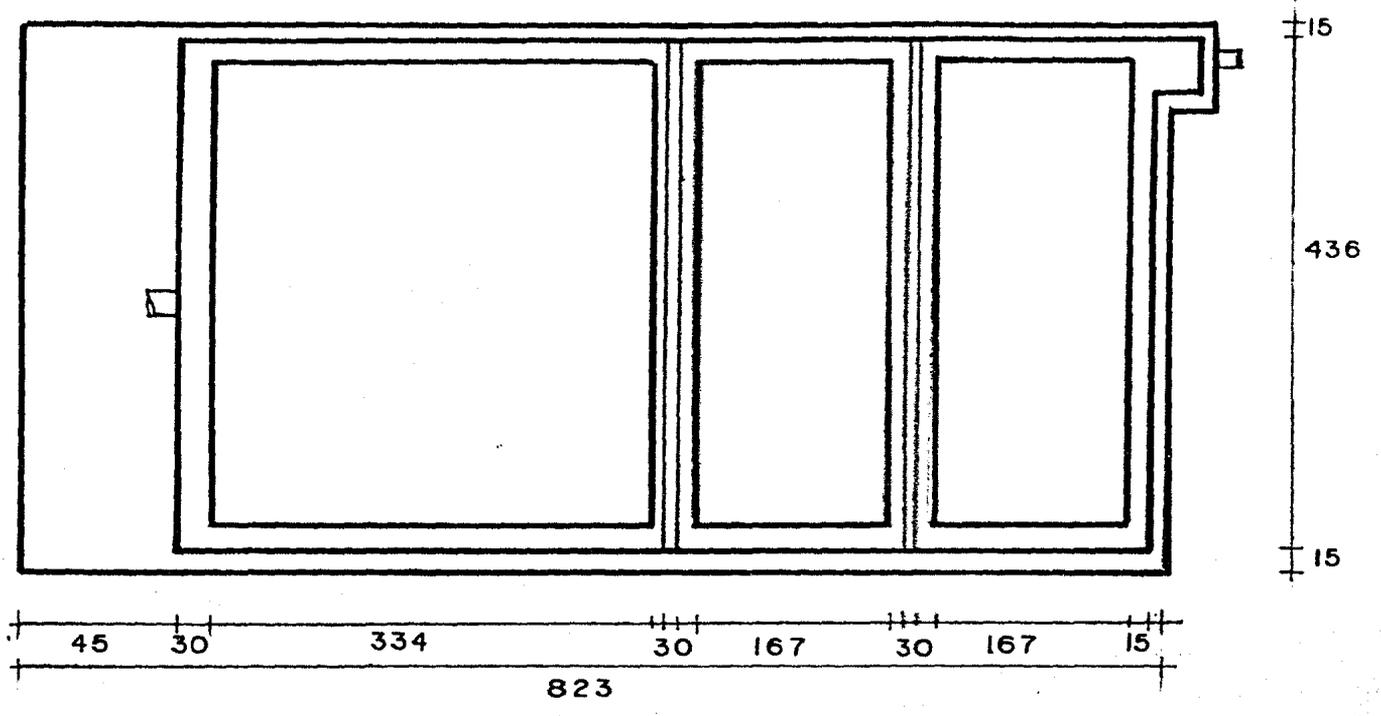


DETALLE MEDIDORES PARSHALL

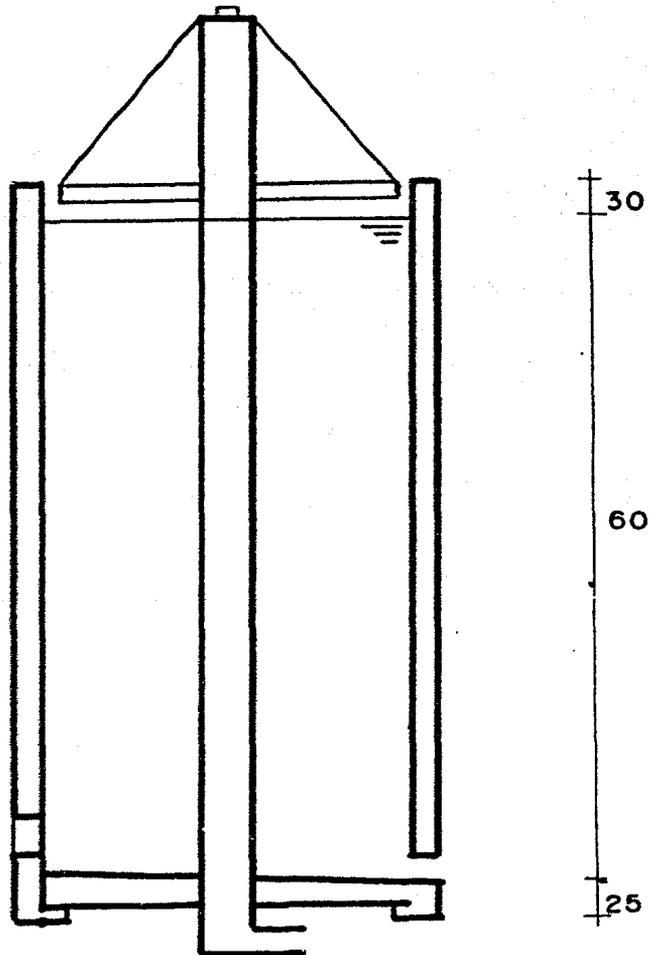
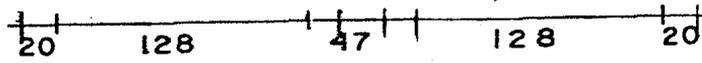
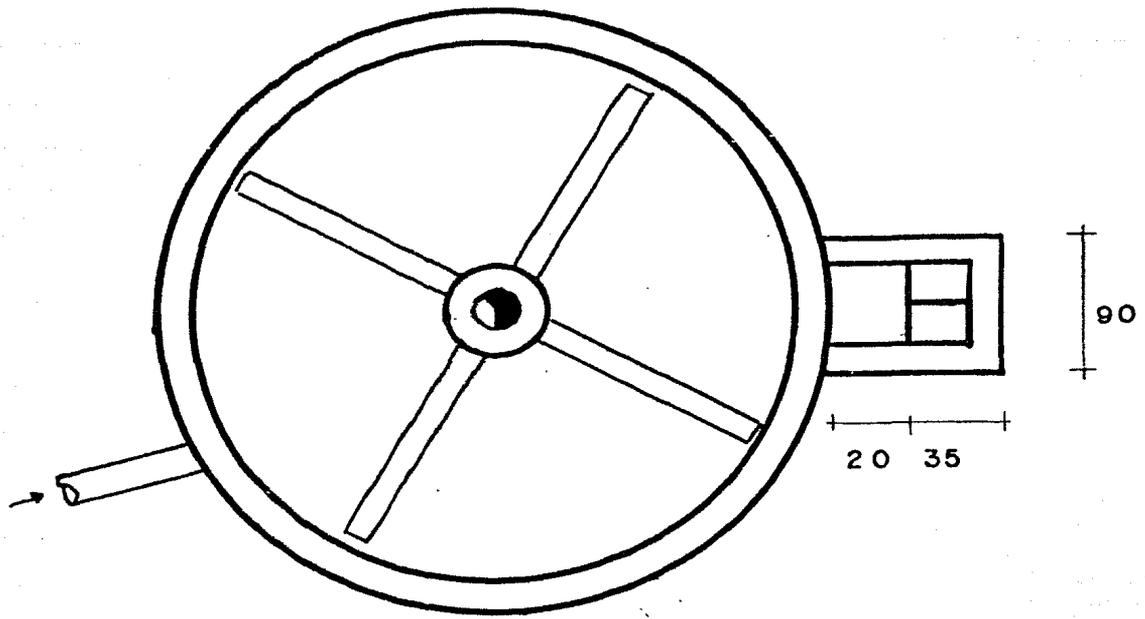




TANQUE DE AEREACION

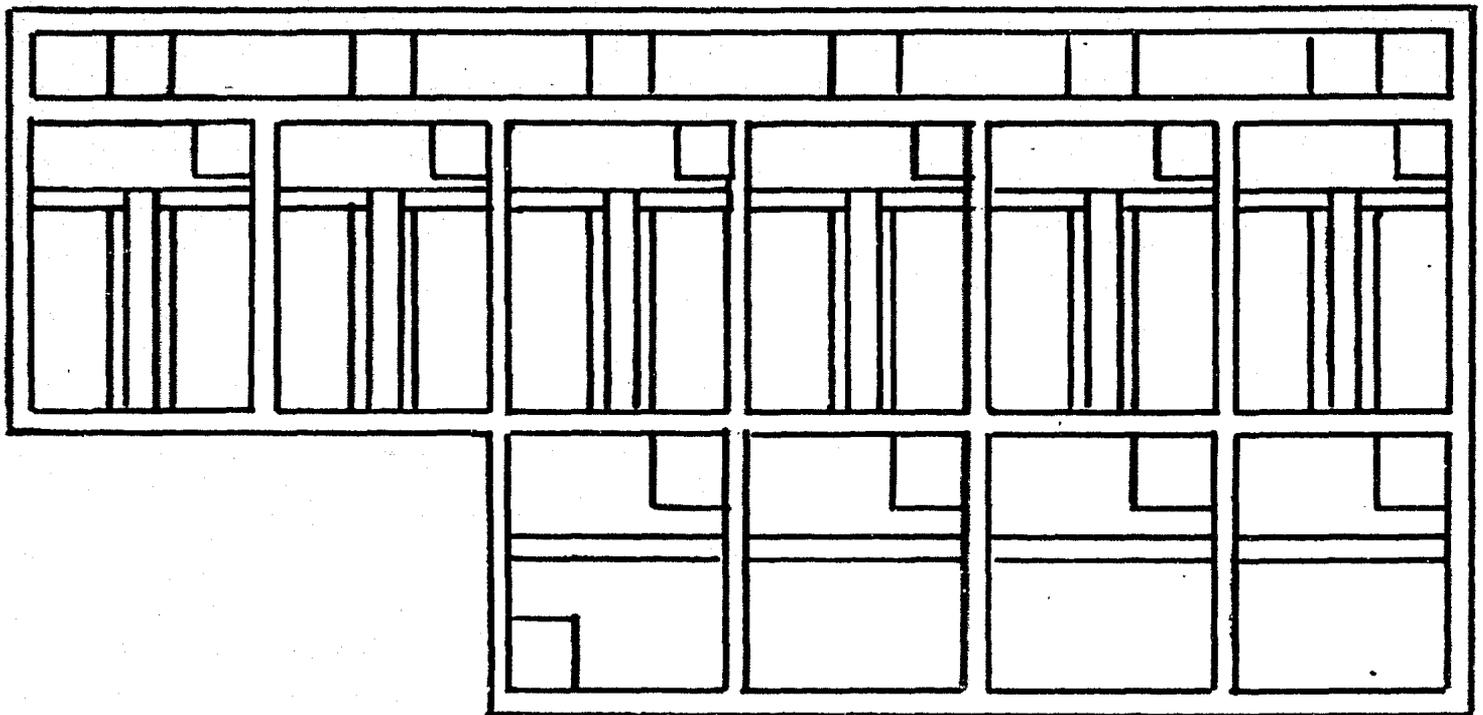
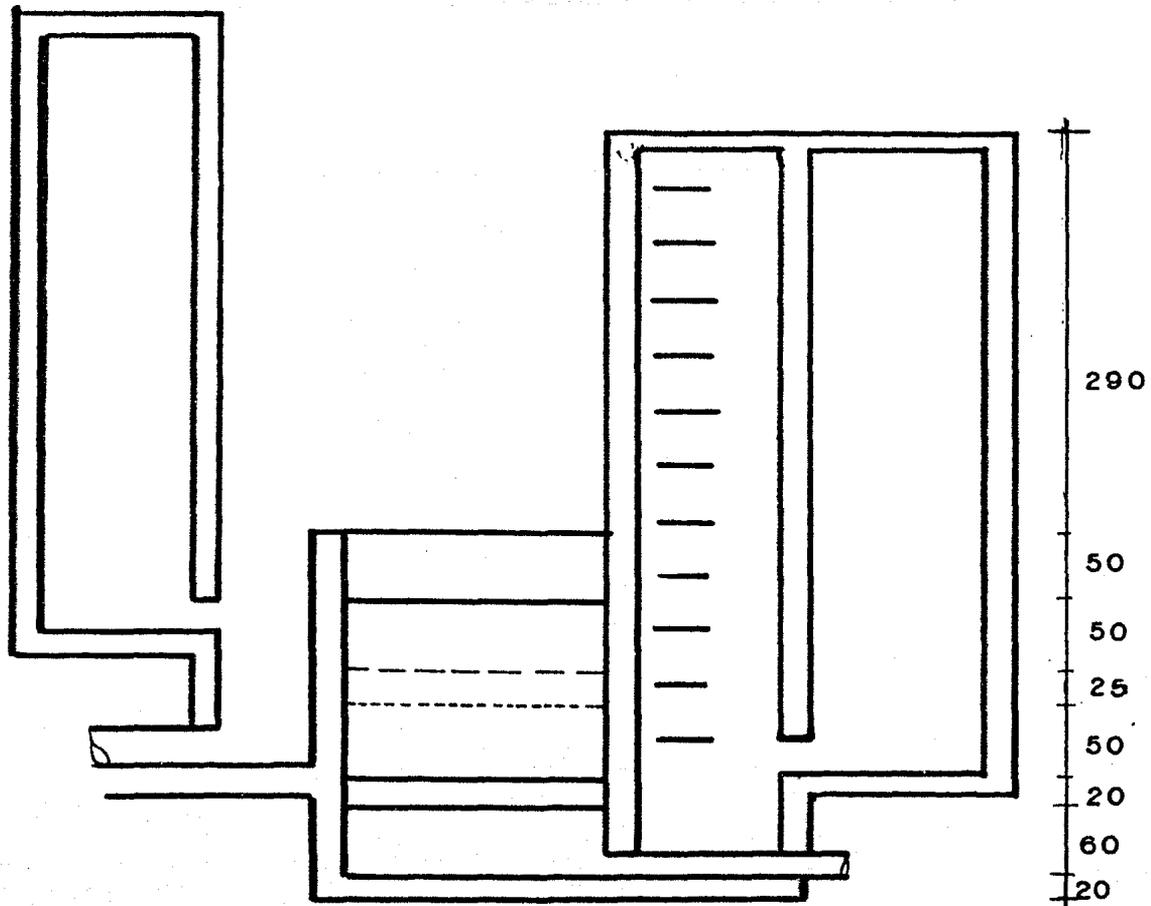


BIODISCOS

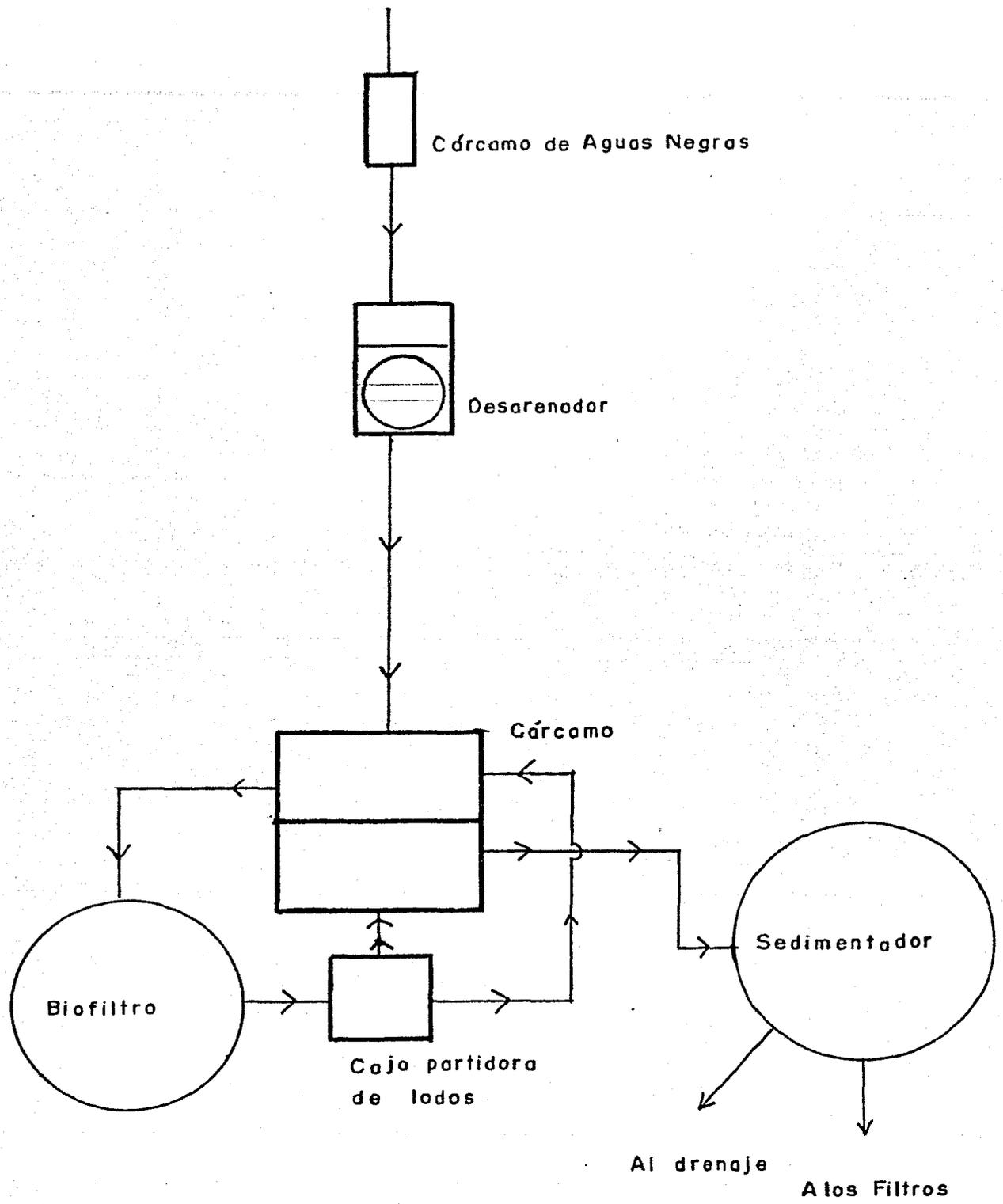


TORRE BIOLOGICA EMPACADA

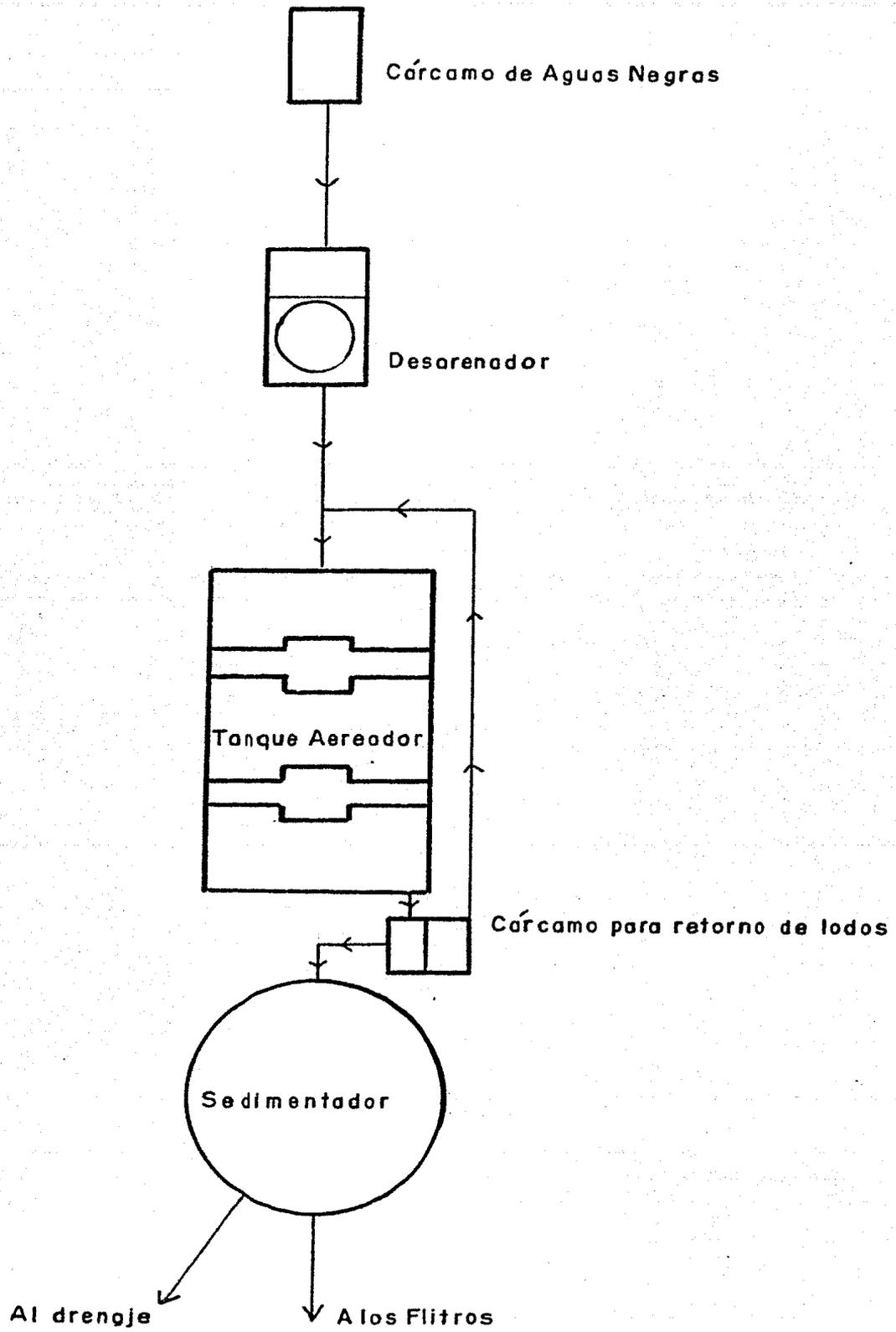




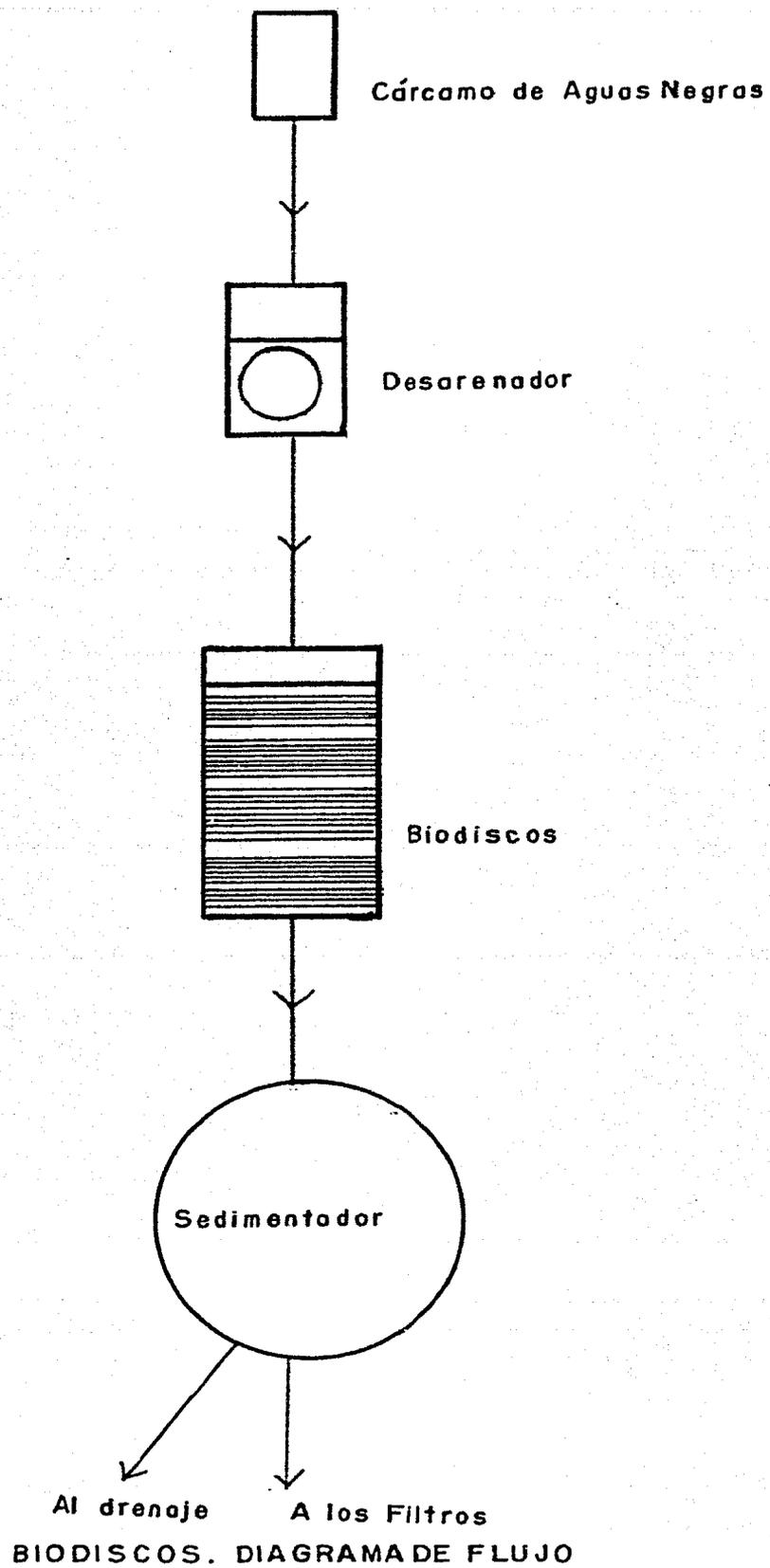
- FILTROS DE ARENA



BIOFILTRO. DIAGRAMA DE FLUJO



LODOS ACTIVADOS. DIAGRAMA DE FLUJO



## NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Las propiedades del agua residual para riego de parques y jardines deben cumplir con ciertas normas de calidad que garanticen que su utilización no será dañina para las plantas, el suelo ó el hombre.

La utilización de las aguas residuales depende primordialmente de:

a).- La adaptabilidad de las plantas a las substancias contenidas en el agua.

Generalmente toda el agua es adecuada para riego, pero el uso de agua con altos contenidos de minerales aumenta la salinidad del terreno afectando a las plantas, por lo que se debe tratar de obtener un agua libre de ciertas substancias dañinas para su crecimiento, como son las sales disueltas, metales pesados, substancias orgánicas, microorganismos y controlar el pH, con una relación costo efectividad lo más alta posible. Normalmente el tratamiento del agua residual logre eliminar satisfactoriamente a los sólidos disueltos causantes de la turbiedad, la demanda bioquímica de oxígeno originada por la descomposición de la materia orgánica y los microorganismos que en ella se encuentran, pero no se puede esperar la total descomposición de los compuestos de N y P, a menos que se utilice algún proceso de desalación, ya que los tratamientos comunes no afectan a los minerales disueltos.

Las substancias disueltas en el agua pueden inducir reacciones químicas que inmovilizan a los componentes químicos existentes en el suelo y alterar sus propiedades físicas;

un alto contenido de minerales puede alterar las propiedades fisicoquímicas del terreno y reducir el crecimiento de las plantas, por lo tanto la posibilidad de utilizar un cierto tipo de agua depende del contenido de minerales, su composición y concentración.

b).- El tratamiento dado al agua.

La calidad del efluente del agua para riego está determinado por la concentración de ciertas sustancias disueltas en ella, así como su contenido de minerales que pueden ó no favorecer al mejoramiento de la tierra.

Se debe tratar de eliminar a los agentes patógenos que pueden afectar a las plantas ó al hombre. Pequeñas cantidades de sólidos suspendidos ó materia orgánica no interfieren en el uso del agua.

Existe un reglamento para la prevención de la contaminación del agua vigente a partir de 1973 que indica cuales son los valores máximos permisibles de los parámetros que afectan de alguna manera a los cultivos regados con agua residual.

En la tabla V se indican los valores máximos permisibles requeridos en las aguas utilizadas para riego. Del conocimiento de estos valores y del tipo de agua residual de que se disponga dependerá el tipo de tratamiento que se utilice. Además se debe buscar que siempre se obtenga la misma calidad de agua en el efluente de la planta.

c).- Condiciones geográficas.

Se deben tomar en cuenta las condiciones climatológicas

del lugar donde se va a utilizar este tipo de agua, la capacidad de filtración del suelo, el tipo de suelo y la técnica de riego. Se deben evaluar las posibilidades de evacuación del agua sobrante y tener presente la evaporación, transpiración y escurrimiento en ese lugar.

Se han hecho varios estudios para ver cómo los componentes químicos afectan el crecimiento de las plantas y cuál es el nivel óptimo de éstos para mejorar las condiciones del terreno y evitar efectos indeseables ó nocivos.

Algunos de los elementos que se deben controlar en las aguas residuales para riego son los siguientes:

**Nitrógeno.**- Los nutrientes aplicados a la tierra deben estar balanceados con la demanda de nutrientes por parte de la planta para minimizar la contaminación de las aguas subterráneas ya que el nitrógeno, si se encuentra en concentraciones cercanas a 10 mg/lt de nitrato, puede ocasionar una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia. Además grandes concentraciones de nitrógeno inhiben el crecimiento de las raíces.

**Metales Pesados.**- La concentración de metales pesados en el agua residual usada para riego debe ajustarse a las normas de agua natural para riego. Sin embargo, en las aguas residuales pueden existir grandes cantidades de cobre y cadmio que son elementos muy tóxicos.

Para la mayoría de los metales la tierra y la raíz de las plantas son generalmente una barrera efectiva para impedir su paso, pero en terrenos arenosos pueden llegar a las aguas subterráneas.

El cadmio es el elemento que más interfiere en la cadena alimenticia del hombre, y aunque hay poca información acerca de los peligros que puede causar, se cree que produce el itai itai.

Otros metales que se encuentran en el agua son el boro, cromo, cobalto, níquel, mercurio, plomo y zinc.

Agentes Patógenos.- Los agentes patógenos comprenden a las bacterias, espiroquetas, gusanos, protozoarios y virus.

El riego por aspersión requiere de la mejor calidad del agua desde el punto de vista bacteriológico, ya que el agua es aplicada directamente a la superficie de la planta, pero por lo general sólo afecta a las verduras y no a las yerbas, árboles y gramíneas.

Las bacterias pueden llegar a vivir hasta varios años en la tierra, por lo que existe un peligro potencial para la salud si su número es muy elevado, además de que pueden ser transportadas por el viento y el escurrimiento del agua, contaminando así otras cosas. Por todo esto se debe buscar una buena desinfección de las aguas residuales.

Boro.- El boro presenta un especial problema en los terrenos irrigados, ya que es rápidamente absorbido por los hidróxidos y óxidos de diferentes metales, lo que hace cambiar el pH del suelo entre 7 y 9. Si existe un buen drenaje del terreno el boro no es absorbido.

El boro es necesario en concentraciones menores a 0.5 mg/lit por m<sup>2</sup>, pero a concentraciones mayores afecta a las plantas.

Sales.- El efecto más notable del agua en las plantas y el

suelo es sin duda el producido por los minerales disueltos, que se pueden medir por medio de las pruebas de sólidos disueltos y conductividad eléctrica.

Pequeñas concentraciones de sales en el agua no causan ningún efecto sobre las plantas, pero, cuando las concentraciones son altas, se afecta directamente la capacidad de las plantas para absorber agua.

La fuerza de succión de la raíz para absorber el agua aumenta al disminuir la humedad del suelo y aumentar el contenido de minerales disueltos en el agua. Al aumentar el contenido de minerales se reduce la presión osmótica que provoca el paso del agua a través de la membrana semipermeable de la raíz. Las sales, por lo general, se acumulan cerca de la raíz aunque su concentración sea pequeña.

El pasto es de las plantas que mejor toleran un alto contenido de sales. Los árboles y las plantas de ornato sí se ven afectadas aún con bajas cantidades de sales, y si se utiliza el riego por aspersión, los iones de sodio y cloro dañan la absorción de las hojas si es grande la evaporación.

Además de afectar a las plantas, la alta salinidad puede influir física y químicamente en las propiedades del terreno. El mineral que más afecta es el ion sodio, también afectan otros cationes monovalentes como el potasio, hidrógeno y amoníaco.

La cantidad y extensión de los daños provocados por la sal depende también de las características del suelo.

La capacidad de retener iones positivos es fundamental en

la química de los suelos, esta capacidad proviene de los minerales, aluminosilicatos, hidróxidos y óxidos de minerales y la materia orgánica. A través de este mecanismo el suelo provee las sustancias esenciales como calcio y magnesio y ayuda a mantener la estabilidad de los agregados del terreno.

En condiciones normales el mecanismo electrostático ayuda a la adsorción de los cationes bivalentes como el calcio, pero este equilibrio es roto fácilmente cuando la composición química del terreno es cambiada debido a la aplicación de agua con grandes concentraciones de iones sodio con respecto a los de calcio y magnesio, y de esta manera el sodio desplaza al calcio lo que, si alcanza niveles altos, se aprecia el agrietamiento del suelo volviéndolo permeable.

La irrigación puede crear condiciones salinas en el suelo de dos diferentes maneras:

a).- Cuando el agua contiene gran cantidad de minerales disueltos.

b).- Aunque el agua no sea salina, las sales disueltas que quedan después de la evaporación se acumulan gradualmente en la zona de las raíces.

En el diagrama I se presentan los límites tolerables en el contenido de sales en el agua.

FARMETRO

MAXIMO PERMISIBLE

Temperatura	Condiciones naturales mas 2.5°C
pH	6-9
Oxigeno Disuelto	mayor de 3.2 mg/lt
Grasas y Aceites	Ausencia de película visible
Nitrogeno y Fósforo	No debe causar hiperfertilización
Coliformes	1000 ppm/100 ml
DEO	50mg/lt
Conductividad	2000 mhos/cm
Absorción de Sodio	6
Sólidos Solubles	125 mg/lt
Material flotante	Ausente
Turbiedad	Condiciones naturales
Color	Color natural mas 10 unidades
Detergentes (SAAM)	3 mg/lt
Sales Totales	700 mg/lt
Cloruros	5.5 mg/lt
Sulfatos	10 mg/lt
Sodio	70 mg/lt
boro	0.4 mg/lt
Cadmio	0.05 mg/lt
Cobre	1 mg/lt
Cromo hexavalente	0.05 mg/lt
mercurio	0.002 mg/lt
Zinc	0.04 mg/lt
Niquel	0.02 mg/lt
Arsenico	0.5 mg/lt
Nitrogeno	5 mg/lt
Selenio	0.01 mg/lt
Kolibdeno	0.01 mg/lt

TABLA V. VALORES MAXIMOS PERMISIBLES PARA CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES DE AGUA PARA USO AGRICOLA. Ref. (3,6,10)

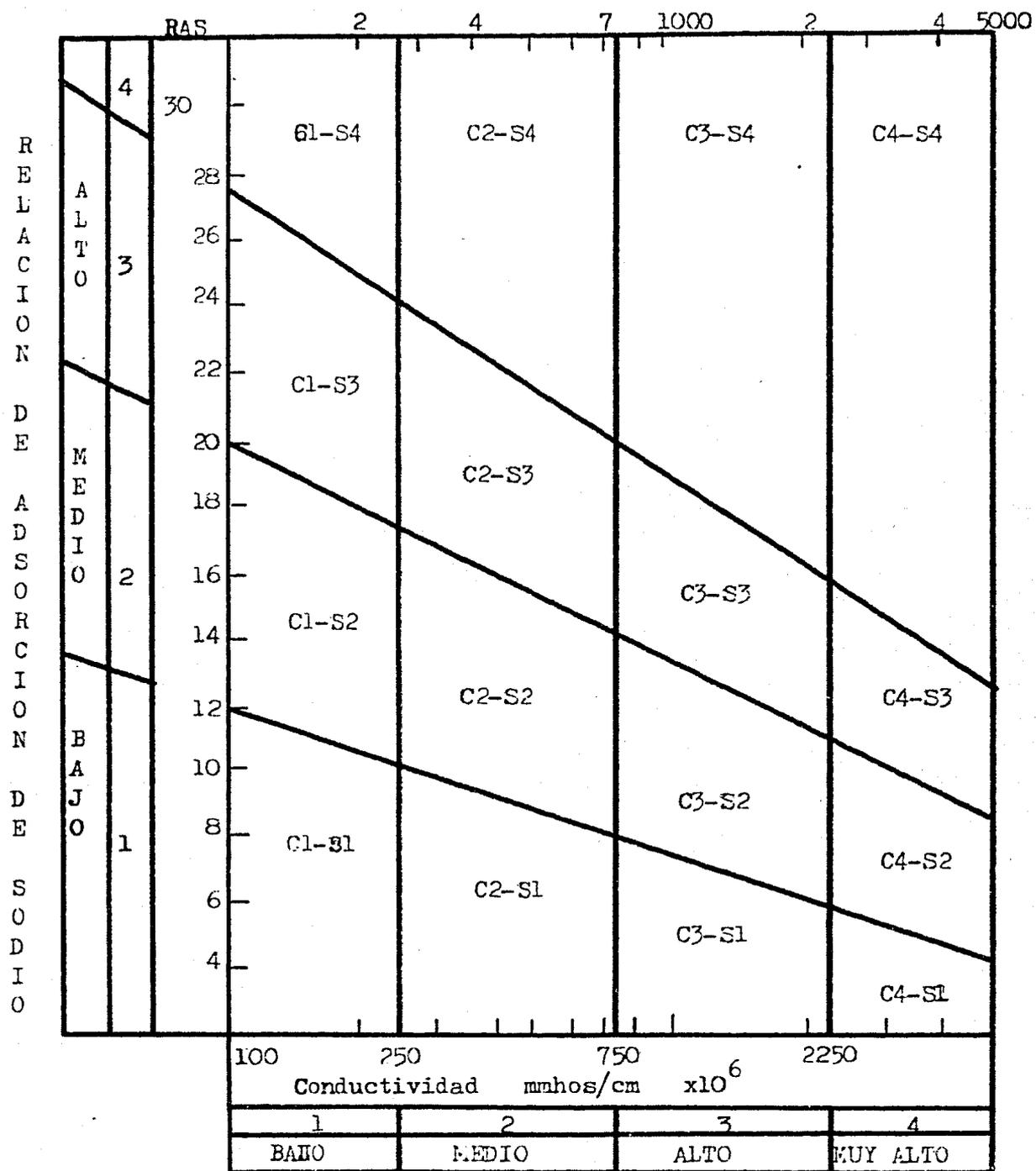


DIAGRAMA I. CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO. Ref. ( 8 )

## CONCLUSIONES

Durante la etapa inicial de operación es probable que se observen algunos pequeños errores de diseño ó deficiencias en la operación de algún componente de la planta, que deberán ser corregidos conforme se detecten.

Según el diseño actual la planta carece de equipo para deshidratar y disponer de los lodos excedentes, debiendo ser arrojados al drenaje. Sin embargo, la planta ofrece un elemento de gran valía para fines de docencia, entrenamiento e investigación.

Actualmente la planta de tratamiento se encuentra en un periodo experimental mientras se logran estabilizar los tres procesos biológicos, cosa que no se ha podido realizar completamente debido a la gran variación del gasto ( de 17 a 43 lt/seg).

Para saber cómo está funcionando la planta se han realizado pruebas de laboratorio y se puede decir que los resultados hasta ahora obtenidos son satisfactorios ya que cumplen con las normas de calidad de agua para riego.

De los resultados de las pruebas realizadas durante la primera quincena de febrero de este año, el único parámetro que excede los valores permitidos es el de los organismos coliformes ( $10 \times 10^5$  -  $21 \times 10^5$ ) debido a que todavía no está funcionando el tanque clorador; se espera que cuando funcione este número se reduzca sustancialmente.

Se ha observado que la eliminación de la DBO y la DQO es mayor del 80 %, y la relación DBO/DQO es igual a 0.3 .

Existen también en el agua pequeñas cantidades de metales pesados, los cuales son eliminados indirectamente durante el tratamiento.

Debido a que el agua es rica en N y P, que son nutrientes para las plantas, ésta constituye una buena fuente para riego.

Comparando los resultados de la conductividad eléctrica (420  $\mu$ mho/cm) y la relación de adsorción de sodio (2.4) con los datos del diagrama I se puede concluir que el agua obtenida en la planta de tratamiento es apropiada para el riego de todo tipo de suelo.

Los valores de los parámetros más importantes se presentan en la Tabla VI.

PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE
pH	8.4	7.7
DBO <sub>t</sub>	160	16
DQO	179	40
Conductividad eléctrica	580	420
DBO/DQO	0.8	0.3
Sólidos Solubles	3.5	0.03
N-NH <sub>3</sub>	7.5	2
N-NO <sub>3</sub>	1.2	5.7
Cobre	0.007	0.0012
Boro	149	67
Plomo	0.007	0.001
Cromo	0.0004	0.0001
Fierro	0.013	0.008
Alcalinidad		180
Dureza Total		172
Colis		16x10 <sup>5</sup>
Calcio		26
Magnesio		25
Sodio		12
Potasio		3
SAR		2.4
Temperatura		21-17

TABLA VI. Resultados de las pruebas realizadas durante la primera quincena de febrero por el Ing. Ochoa.

## RECOMENDACIONES

Se debe señalar en los lugares donde se use el agua tratada que ésta es no potable.

Sólo el personal adecuado debe tener acceso a la utilización de las válvulas de riego.

Se debe permitir que el suelo se seque entre una y otra irrigación, y no permitir que se formen charcos.

Implementar programas de investigación sobre temas poco estudiados hasta ahora tales como:

a).- Materiales filtrantes alternativos a los convencionales.

b).- La relación entre los compuestos contenidos en el agua tratada y el desarrollo de las plantas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1- Albarran, J., Manzano, R., 1982, "Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U." Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
- 2- Argüello, R., Barrera, E., 1982, "Control Analítico de la Planta de Tratamiento de Aguas de C.U." D.M.P.F.I., U.N.A.M.
- 3- Cuéllar, Ch. R., 1981, "Research Need in Mexico with Respect to the Renovation and Reuse of Domestic Wastewater, Municipal Wastewater in Agriculture", México.
- 4- Fair, G., Geyer, J., Okun, D., 1981, "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales", Tomo II, Ed. Limusa, México.
- 5- Flores, H. F., 1980, "Consideraciones Cinéticas e Hidráulicas Sobre Diversos Modelos de Tratabilidad de Aguas Residuales", T.M., México.
- 6- Gloyna, J., Chang, Y., Page, B., 1980, "Simposio Sobre el Aprovechamiento de Aguas Residuales", México.
- 7- Metcalf-Eddy, 1977, Tratamiento y Depuración de Aguas Residuales", Ed. Labor, España.

- 8- Murguía, V. F., 1980, "Apuntes de Contaminación de Aguas",  
F.I., U.N.A.M.
- 9- Nemerov, N., 1972, "Liquid Waste of Industry, Theories,  
Practices and Treatment" Addison-Wesley Ed.,  
E.U.A.
- 10- Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación  
de Aguas", 1973, México.
- 11- Schroeder, E., 1977, "Water and Wastewater Treatment",  
McGraw Hill Ed., E.U.A.