

50521  
//



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

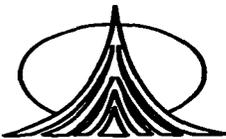
---

**“PROPUESTA DE UN TREN DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO AGRÍCOLA, EN  
EJIDO DE SAN JUAN IXTAYOPAN EN TLAHUAC, D.F.”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A N:  
CORNEJO ESPINAL JAVIER  
RODRÍGUEZ ISLAS FRANCISCO**

**DIRECTOR: M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA**



**MÉXICO D.F.**

**2003**

A



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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/072/03**

**ASUNTO:** Asignación de Jurado

**ALUMNO: CORNEJO ESPINAL JAVIER**  
**P r e s e n t e.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>M. en C. Andrés Aquino Canchola</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. Martha Flores Becerril</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Juan Antonio Dávila Gordillo</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Juan Carlos Prieto López</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Zula Genny Sandoval Villanueva</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
México, D. F., 1º de Septiembre de 2003

**EL JEFE DE LA CARRERA**

INSTRUMENTO  
SECRETARIA

**M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

4

3



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/073/03**

**ASUNTO:** Asignación de Jurado

**ALUMNO: RODRÍGUEZ ISLAS FRANCISCO**  
**P r e s e n t e .**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>M. en C. Andrés Aquino Canchola</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. Martha Flores Becerril</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Juan Antonio Dávila Gordillo</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Juan Carlos Prieto López</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Zula Genny Sandoval Villanueva</b>

Sin más por el momento. reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
México, D. F., 1° de Septiembre de 2003

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA**

**TECIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

+

C

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A la UNAM y a la FES-Zaragoza.**

Por darnos la oportunidad de cursar una carrera profesional, que nos permitirá desarrollarnos profesionalmente en el campo científico y tecnológico, y así mismo para abrimos pasó en la vida siendo útiles a la sociedad.

### **A los C.C. Catedráticos de la FES-Zaragoza.**

Que fueron ejemplos de rectitud y dedicación a la noble tarea de iluminar nuestro entendimiento; por su dedicación, paciencia y enseñanza de valores, que son la base de nuestra vida profesional.

### **A los Ingenieros Sinodales.**

Por brindarnos el tiempo necesario y por la aportación de sugerencias y comentarios en la realización de este trabajo.

### **A nuestro director de tesis; El M. en C. Andrés Aquino Canchola.**

Quien nos brindo su apoyo y tiempo de manera incondicional, al dirigir el presente proyecto. Aportando sus grandes conocimientos en el área de sistemas de tratamiento.

**Para ellos un gran reconocimiento y Gracias**

**Atentamente:  
Cornejo Espinal Javier.  
Rodríguez Islas Francisco.**

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.</b>	8
<b>RESUMEN.</b>	9
<b>OBJETIVOS.</b>	10
<b>GENERALIDADES.</b>	12
• A) LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL TREN DE TRATAMIENTO.	14
• B) MEDICIONES EN CAMPO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL Y SUS RESPECTIVOS AFOROS.	17
• C) BASES PARA LA PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO.	17
• D) APORTACIONES Y PARÁMETROS.	18
• E) ÁREA DISPONIBLE.	18
• F) PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL INFLUENTE.	19
• G) PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL EFLUENTE.	20
• H) ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.	21
<b>CAPITULO I</b>	
<b>PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO</b>	23
• 1.1 PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO.	24
• 1.2 BASES DEL PROYECTO.	26
• 1.2.1 VOLUMEN DE VENTAS	27
• 1.2.2 PRECIO DE VENTA	28

<b>CAPITULO II</b>	
<b>PRETRATAMIENTO</b>	<b>31</b>
• 2.1 PRETRATAMIENTO PARA SEPARACIÓN FÍSICA.	32
• 2.2 COMPUERTA.	33
• 2.3 CÁRCAMO.	33
• 2.4 REJILLA PRIMARIA.	33
• 2.5 CALCULO DE LA REJILLA PRIMARIA	36
• 2.6 REJILLA MECANICA AUTOLIMPIANTE.	36
• 2.7 CRIBADO.	37
• 2.8 CONTENEDORES DE RECHAZO.	37
• 2.9 ZARANDA	37
<b>CAPITULO III</b>	<b>42</b>
<b>TRATAMIENTO FISICOQUIMICO</b>	
• 3.1 TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO.	43
• 3.2 PRIMERA ETAPA DEL TRATAMIENTO FISICOQUIMICO.	46
• 3.3 SEGUNDA ETAPA DEL TRATAMIENTO FISICOQUIMICO.	47
• 3.4 MODELO DE TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO.	48
• 3.5 PRUEBA DE JARRAS.	51
• 3.6 DOSIFICACION DE REACTIVOS QUIMICOS.	53
• 3.6.1 DOSIFICACION DE CAL.	53
• 3.6.2 DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO.	53
• 3.6.3 DOSIFICACION DE FLOCULANTE.	54
• 3.7 CALCULO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO, PARA EL RETIRO DE LODOS EN EL TANQUE FISICOQUIMICO.	56
• 3.7.1. SELECCIÓN DEL EQUIPO	60

## **CAPITULO IV**

### **TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

• 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ALTERNO PARA LA SECUENCIA OPERATIVA DE LOS MÓDULOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.	66
• 4.2 PRIMERA ETAPA TRATAMIENTO BIOLÓGICO AERÓBICO.	70
• 4.3 SEGUNDA ETAPA TRATAMIENTO BIOLÓGICO FACULTATIVO	72
• 4.4 TERCERA ETAPA TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE DESNITRIFICACION.	73
• 4.5 SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL SUMINISTRO DE AIRE PARA LOS REACTORES BIOLÓGICOS.	76
• 4.5.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO	79

## **CAPITULO V**

### **CLARIFICACION.**

• 5.1 CLARIFICACION.	83
• 5.2 MEZCLADOR RÁPIDO.	86
• 5.3 FRICIONADORES-FLOCULADORES.	87
• 5.4 TANQUE DECANTADOR.	87
• 5.5 PUENTE DE RASTRAS.	88

<b>CAPITULO VI</b>	<b>90</b>
<b>FILTRACION Y DESINFECCION.</b>	
• 6.1 SISTEMA DE FILTRACIÓN EN ARENA SILICA.	91
• 6.2 FILTRACION POR ARENA SILICA.	93
• 6.3 SISTEMA DE FILTRACION CON CARBON ACTIVADO.	99
• 6.4 ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO GRANULAR (CAG).	99
• 6.5 DESINFECCIÓN POR LUZ ULTRAVIOLETA (U.V.) Y/O POR CLORACIÓN.	104
• 6.6 EFLUENTE FINAL (AGUA TRATADA).	106
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>109</b>
• REFERENCIAS.	110

## **INDICE DE FIGURAS**

• FIG. NO. 1	EL CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO	15
• FIG. NO. 2	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	22
• FIG. NO. 3	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO	35
• FIG. NO. 4	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CARCAMO PRIMARIO VISTA DE PLANTA	39
• FIG. NO. 5	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CARCAMO PRIMARIO CORTE LATERAL	40
• FIG. NO. 6	ARREGLO GENERAL DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO	41
• FIG. NO. 7	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO FISICOQUÍMICO	44
• FIG. NO. 8	ETAPAS DEL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO	45
• FIG. NO. 9	DIAGRAMA DE LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO	55
• FIG. NO. 10	ARREGLO GENERAL DE LA BOMBA 8 X 4 VISTA FRONTAL	63
• FIG. NO. 11	ARREGLO GENERAL DE LA BOMBA 8 X 4 VISTA LATERAL	64
• FIG. NO. 12	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	69
• FIG. NO. 13	ARREGLO GENERAL DEL BIOLÓGICO 1 A	74
• FIG. NO. 14	ARREGLO GENERAL DEL BIOLÓGICO 3 A	75
• FIG. NO. 15	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN	84
• FIG. NO. 16	DIAGRAMA DEL TANQUE DE CLARIFICACIÓN	85
• FIG. NO. 17	ARREGLO GENERAL DEL CLARIFICADOR BIOLÓGICO	89
• FIG. NO. 18	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRATAMIENTO TERCIARIO DE FILTRACIÓN Y DESINFECCIÓN	92
• FIG. NO. 19	ARREGLO GENERAL DEL FILTRO DE ARENA VISTA DE PLANTA	97
• FIG. NO. 20	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DE ARENA	98
• FIG. NO. 21	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO	100
• FIG. NO. 22	EL ARREGLO GENERAL DEL FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO VISTA DE PLANTA	103
• FIG. NO. 23	ARREGLO GENERAL DE LOS MÓDULOS DE DESINFECCIÓN	105

## **INDICE DE TABLAS**

• TABLA. NO. 1	PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL INFLUENTE	19
• TABLA. NO. 2	PARÁMETROS DEL EFLUENTE PARA RIEGO DE HORTALIZAS EN TIEMPO DE ESTIAJE	20
• TABLA. NO. 3	CALCULO DE PERDIDAS POR FRICCIÓN Y PIEZAS ESPECIALES	59
• TABLA. NO. 4	CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR CONDUCCIÓN	79

## **INDICE DE PLANOS**

• PLANO. NO. 1	ARREGLO GENERAL DEL CLARIFICADOR PRIMARIO	62
• PLANO. NO. 2	ARREGLO GENERAL DEL TREN BIOLÓGICO "A" Y "B"	81
• PLANO. NO. 3	ARREGLO GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	107

## **INTRODUCCIÓN**

El agua juega un papel importante en las actividades del desarrollo del ser humano, así como en diferentes procesos tanto industriales como naturales y es vital en muchos procesos biológicos.

La conservación y el control de los suministros de agua es factor de primer orden en la conservación del equilibrio de la naturaleza.

El agua residual es uno de los principales contaminantes en ríos, lagos y lagunas, además es causa de múltiples enfermedades, para quienes habitan en las márgenes de estos.

El ejido de San Juan Ixtayopan, se encuentra ubicado al sur-oriente del Distrito Federal, particularmente en la delegación Tlahuac. Esta zona es considerada exclusivamente como zona agrícola, y por falta de infraestructura de riego los ejidatarios de esta región utilizan las aguas negras como fuente de suministro en el riego de hortalizas. Actualmente se encuentran en espera mas de 5000 hectáreas de tierra para cultivo, que solo son cultivadas en época de lluvias para ser útiles y rentables, dependiendo totalmente de que el suministro de agua sea bueno o malo.

Tomando en consideración esta problemática, se propone un tren de tratamiento de aguas residuales para el rehusó en el riego agrícola, y que cumpla con la normatividad actual para este rubro.

Las aguas residuales ha tratar son generadas por una población urbano-rural, lo que favorece la proyección de un tren de tratamiento conocido como híbrido es decir; un proceso de tratamiento fisicoquímico y biológico.

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene por objetivo, la propuesta de un tren de tratamiento de aguas residuales para rehusó en el riego agrícola.

Este trabajo esta comprendido de VI capítulos, donde se explica cada una de las fases del tratamiento. El sistema propuesto se compone de 3 etapas principalmente, en la primera se contempla un sistema de pretratamiento para la eliminación de basuras, una segunda etapa de tratamiento para la eliminación de contaminantes y materia orgánica, mediante procesos fisicoquímicos y biológicos, y por ultimo una tercera fase de filtración y desinfección, para la eliminación de material suspendido y organismos patógenos.

En el desarrollo de cada etapa del sistema de tratamiento, se explica el fundamento teórico, se presentan diagramas, esquemas, distribuciones de área, arreglo de equipos y cálculos para la selección adecuada de los equipos de proceso.

Cabe señalar que esta propuesta es uno de los puntos de partida para el diseño, construcción, arranque y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Identificar cada una de las partes que componen el tren de tratamiento de aguas residuales.
- Determinar el tren de tratamiento, tipo y dosificación de reactivos químicos necesarios, para el tratamiento de las aguas residuales municipales producidas en una población urbano-rural.
- Garantizar la producción de agua residual tratada con nivel terciario para riego agrícola, y distribuirla mediante líneas de conducción al ejido de San Juan Ixtayopan en la Delegación Tláhuac como primera etapa.
- Ampliar la capacidad de tratamiento de agua residual tratada de la zona, así como mejorar su calidad Físico-química y Bacteriología, que cumpla con la normatividad vigente en este rubro, y emplearla en el cultivo de hortalizas y programas acuícolas a futuro en el paraje del Llano perteneciente también al ejido de San Juan Ixtayopan en la Delegación Tláhuac.
- Conservar las condiciones de seguridad y medio ambiente en la zona, a través de la distribución y regulación del agua residual.

## GENERALIDADES

## **GENERALIDADES.**

En respuesta a las necesidades de suministro de agua para las diferentes actividades de la población de la Ciudad de México, se ha obligado de manera ética y legal al rehúso de este recurso. Por otra parte el impacto ambiental que ocasionan este tipo de descargas no controladas hacia la red municipal y cuerpos receptores, como son los vasos reguladores y otros colectores de propiedad federal, obligan aún más a tener un sistema de tratamiento altamente eficiente.

Aún mas, en este caso particular, la dependencia consciente de la buena administración del recurso agua, pretende evitar la escasez del vital líquido, tomando en cuenta los recursos disponibles incluyendo las aguas negras, tuvo la iniciativa de incorporar en su infraestructura, un sistema capaz de transformar un desecho en fuente de suministro de agua para riego de hortalizas en tiempo de estiaje para la población del lugar, buscando en primera instancia promover una buena fuente de ingresos a los pobladores, invitándolos con ello, a destinar sus tierras al cultivo y no tener que venderlas a fraccionadores, con esto se fomenta la protección de las ya escasas zonas de recarga de la zona metropolitana.

Es muy sabido que el rehúso del agua sólo puede lograrse mediante sistemas de tratamiento, que, dependen del tipo de compuestos contaminantes que contenga. Estos pueden formarse de tres, cuatro o más etapas, debiendo contar con el tratamiento primario, secundario y terciario, siendo cada uno de ellos lo suficientemente eficientes para lograr los objetivos de tratamiento.

En este caso particular, el agua a tratar proviene de dos colectores con diámetro de tubería de 1.07 mts., que básicamente reciben las descargas sanitarias de una población urbano/rural, de las delegaciones Xochimilco y Tlahuac del Distrito Federal.

Es por lo anterior que se requiere proponer un sistema de tratamiento integral, que permita remover la mayor cantidad de contaminantes del influente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son por esencia, la herramienta fundamental utilizada dentro de las acciones para controlar la contaminación del agua. A través de ellos se mejora la calidad del agua residual propiciando la posibilidad de su reúso, además de proteger la ecología de los cuerpos receptores y la salud pública.

Para conocer las propiedades del agua, se deben de analizar durante un periodo de tiempo las fuentes de origen y de su utilización, y en caso necesario saber si se pueden modificar, es decir, para poder aplicar una tecnología de tratamiento. Esta no es una empresa rutinaria, aunque así lo parezca. Las propiedades de una fuente de agua varían con su hidrología, con su uso, con las costumbres del sitio, en el flujo a través de las obras de captación, transmisión y distribución. En forma similar, pero más acentuada, las propiedades de un agua residual varían en relación con su uso, en su flujo, a través de las obras de captación, tratamiento y evacuación.

Respecto a la hidrología de las masas de agua en las que descargan las aguas residuales, longitudinalmente respecto al tiempo y la estación, así como a la distancia de recorrido por el suelo y a través de éste.<sup>28</sup>

Los desperdicios procedentes de las actividades diarias de las personas en una casa habitación, se modifican por la presencia en una comunidad de restaurantes, oficinas, centros comerciales, talleres mecánicos y en este caso particular con descargas de residuos típicos de las pequeñas granjas que aun tienen las personas en sus casas como son puercos, gallinas, conejos, etc., se combinan dentro del sistema de alcantarillado para producir cantidades de sólidos en suspensión, materia orgánica en términos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de la Demanda

---

<sup>28</sup> (Jiménez B. y Chávez A.: (2008). El Reuso de Aguas Residuales en Riego Agrícola)

**Biológica de Oxígeno (DBO)** relativamente constantes, así como de otras sustancias de interés especial en la disposición de las aguas residuales.

Debido al crecimiento y a la transformación incesante que ha sufrido la ciudad de México, el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), pone en marcha un programa de obras prioritarias, enfocado en atender la demanda en la infraestructura de tratamiento y reúso del agua residual, tomando en cuenta las necesidades de diversas índoles, que deben ser cubiertas en un corto plazo para consolidar los servicios que se extienden a los habitantes del Distrito Federal, así como cumplir con los criterios para reúso agrícola, y saneamiento en el manejo del agua residual que establece la normatividad nacional, siendo estos los objetivos que sistemáticamente se continúan año con año, en este caso los sectores elegidos se localizan al sur del Distrito Federal, razón por la cual se da continuidad con el programa general de ordenamiento ecológico del Distrito Federal.<sup>28</sup>

#### **A) LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL TREN DE TRATAMIENTO.**

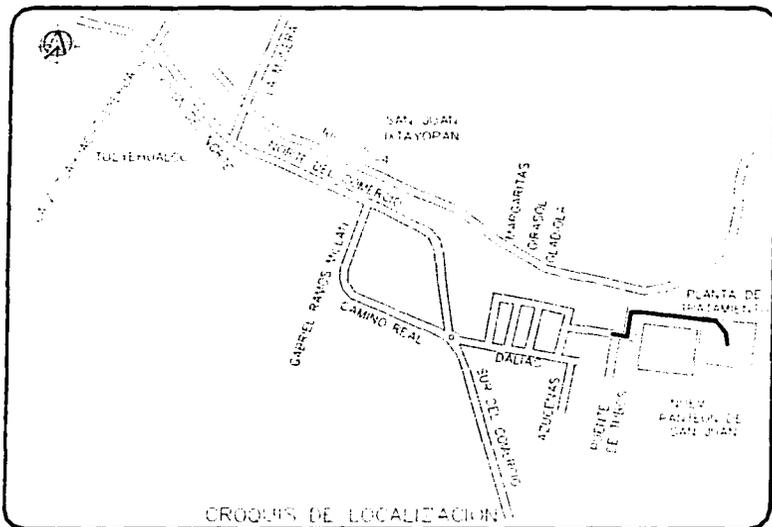
La propuesta del tren de tratamiento de aguas residuales se ubicará entre la calle de Lirios, anteriormente conocida como Puente de Tubos y el canal del Río Ameca, en la Colonia Jardines del Llano de la Delegación Tiáhuac, México, DF.

En la siguiente figura se presenta el croquis de localización.

---

<sup>28</sup> (Programa hidráulico 1995-2000 Poder Ejecutivo Federal)

**Figura No. 1 EL CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO**



La propuesta para el tren de tratamiento, se ubica entre las coordenadas  $19^{\circ} 20'$  de latitud norte y  $19^{\circ} 12'$  y  $98^{\circ} 56'$  y  $99^{\circ} 04'$  de longitud oeste a una altitud de 2230 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

Actualmente el uso del predio donde se propone el tren de tratamiento es suelo para uso agrícola, ya que en la periferia se efectúan actividades agropecuarias siendo común el cultivo de: maíz, verdolaga, brócoli, alfalfa y espinaca; así como la crianza de borrego.

La ubicación del tren de tratamiento se localiza en un área de reserva natural, esta región es considerada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) como

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

patrimonio de la humanidad y de hecho la propuesta y construcción de una Planta de Tratamiento es una obra necesaria para preservar dicho patrimonio.

En cuanto a las colindancias del proyecto estas son:

- ❖ Al este, colinda con la Colonia Jardines del Llano, dónde se ubica el Nuevo Panteón del pueblo de San Juan Ixtayopan.
- ❖ Al sur, colinda con terrenos dedicados al cultivo siendo estos de diferentes tipos: maíz, verdolaga, brócoli, alfalfa y espinaca.
- ❖ Al Oeste, colinda con terrenos dedicados al cultivo siendo estos de diferentes tipos: maíz, verdolaga, brócoli, alfalfa y espinaca.
- ❖ Al norte, colinda con el canal del Río Amecameca.<sup>7</sup>

La propuesta del tren de tratamiento, se ubicaría en una zona específica de riego, la cual cuenta con una infraestructura de riego, que aunque se encuentra obsoleta es de gran ayuda a los ejidatarios de esta comunidad, para la distribución de agua, que en estos momentos es principalmente con aguas negras. Además el agua cruda a tratar proviene de tres colectores que tienen su origen en los asentamientos de las zonas altas que circundan al pueblo de San Juan Ixtayopan y la colonia Jardines del Llano.

---

<sup>7</sup> (Cuaderno Estadístico Delegación Tlaxuc, INEGI, E4, 1998.)

## **B) MEDICIONES EN CAMPO DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL Y SUS RESPECTIVOS AFOROS.**

Dentro de los alcances para la propuesta del tren de tratamiento, se encuentra la medición de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual cruda (Estos parámetros estarán a cargo de la DGCOH),<sup>7</sup> así como la determinación de los volúmenes de agua que reciben los dos colectores que serán derivados hacia el carcamo donde iniciara la primera etapa de tratamiento.

Es importante señalar que los resultados obtenidos y que presente la DGCOH, serán de gran importancia, ya que esta información es el punto de partida para proponer el tren de tratamiento necesario, esto con la finalidad de cumplir con la calidad de agua para riego agrícola y que a su vez cumpla con la normatividad oficial vigente.

## **C) BASES PARA LA PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO**

### **UBICACIÓN DE LA PLANTA**

Población	Habitacional urbano – rural
Altura sobre el nivel del mar	2,300 msnm
Presión barométrica	580 mm Hg (milímetros de Mercurio)
Temperatura promedio máxima	28 °C (grados centígrados)
Temperatura promedio anual	21 °C

<sup>7</sup> (Cuaderno Estadístico Delegación Tlahuac, INEGI, Ed. 1998.)

#### **D) APORTACIONES Y PARÁMETROS.**

Como primera etapa se considera tratar el flujo de dos colectores de drenaje municipales de la zona habitacional urbano – rural, uno de 1.07 metros (m) de diámetro con la mayor carga orgánica pero aportando solo el 25% del flujo total y otra de 1.23 m de diámetro con menor carga orgánica y aportando el 75% del flujo total.

Aporte medio diario	168 lps (litros por segundo)
Aporte máximo diario	274 lps
Aportación pico horario	293 lps
Gasto medio de diseño	250 lps = 21,600 m <sup>3</sup> /día (metros cúbicos por día)
Volumen diario a tratar	21600000 litros = 21,600 m <sup>3</sup> /día

Nota: La aportación complementaria al gasto medio diario para obtener los 250 l.p.s. se tomará el colector Ameca (DGCOH realiza las adecuaciones al colector Ameca)

#### **E) ÁREA DISPONIBLE.**

- Una y media hectáreas aproximadamente
- Uso del agua residual tratada Para riego en hortalizas en tiempos de estiaje

## F) PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL INFLUENTE.

Las características del agua residual consideradas como base en la propuesta de tratamiento se señalan en la siguiente tabla:

**Tabla No 1 PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL INFLUENTE**

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
Temperatura	C°	
pH	U. pH	7.43
Olor	NUO	
Color	U. Pt/Co	250
Grasas aceites	mg/L	162.4
Alcalinidad	mg/L	395.28
D.Q.O.	mg/L	1825.2
D.B.5	mg/L	948
Sólidos Totales	mg/L	2388
S.S.T	mg/L	1140
Nitrógeno total	mg/L	129.84
Fósforo total	mg/L	17.15
Fosfato total	mg/L	105.18
Cadmio	mg/L	0.005
Arsénico	mg/L	0.005
Cromo	mg/L	0.005
Hierro	mg/L	5.818

\* (Comisión Nacional del Agua (CNA) (2000))

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## G) PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL EFLUENTE.<sup>23</sup>

Este componente establece la calidad de agua que se requiere y está definido por la parte Normativa para las aguas residuales tratadas que se reutilizan en servicios al público. En la tabla No. 2 se presentan los parámetros señalados que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas

para riego de hortalizas en tiempo de estiaje. Para sancionar la calidad del tren de tratamiento propuesto.

**Tabla No 2 PARÁMETROS DEL EFLUENTE PARA RIEGO DE HORTALIZAS EN TIEMPO DE ESTIAJE.\***

CONCEPTO	UNIDAD	NOM 001-TIPOS
Temperatura	°C	
PH	U.pH	
Olor	NUO	3
Color	U.P.VCo	100
Grasas y aceites	mg/L	V.L.
Alcalinidad	mg/L	300
D.Q.O.	mg/L	35
S.D.O.F	mg/L	10
Sólidos Totales	mg/L	2000
S.S.T.	mg/L	100
Nitrógeno total	mg/L	30
Fósforo total	mg/L	10
Fósforo total	mg/L	15
Cobre	mg/L	0.1
Arsénico	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	5

TERCER CON  
 FALLA DE ORIGEN

El principal objetivo de esta propuesta es auxiliar a todo el personal involucrado en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como también

<sup>23</sup> (Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996)

\* (Comisión Nacional del Agua (CNA) (2000))

hacer de su conocimiento los temas relacionados con el fin de producir un efluente, con una calidad adecuada para su reuso y aprovechamiento, así como de controlar las descargas a la red hidráulica municipal dentro de los parámetros que marca la normatividad.<sup>23</sup>

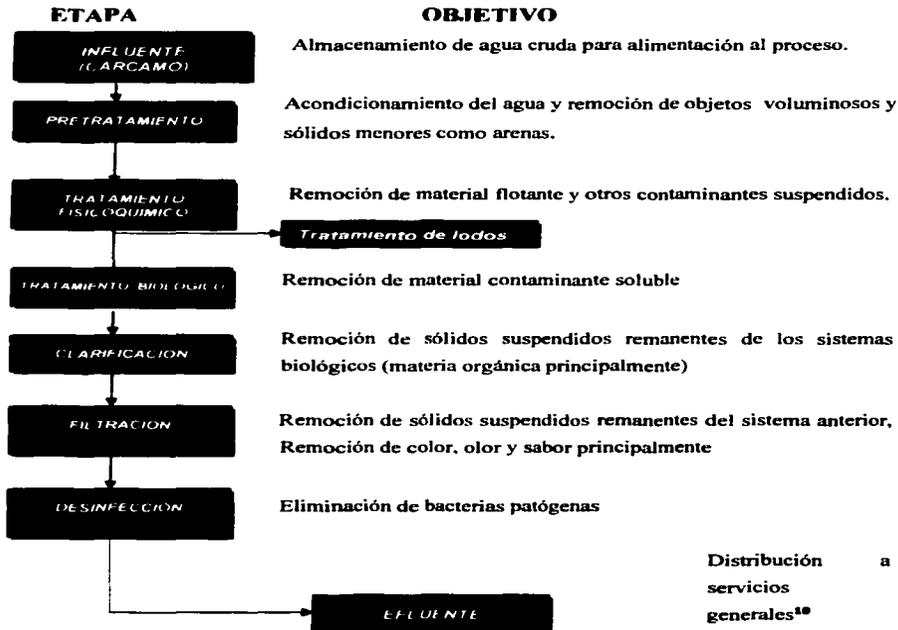
#### **H) ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.**

El tren de tratamiento de agua residual que se propone instalar en el predio denominado "El Llano" del poblado de San Juan Ixtayopan en la Delegación Tiáhuac, es una secuencia lógica de operaciones unitarias que cuenta con las siguientes etapas de proceso como lo muestra el siguiente figura:<sup>9</sup>

---

<sup>23</sup> (Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996)  
\* (Decreto de 1979, Manual técnico del agua)

**Figura No. 2 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA DEL TRATAMIENTO**



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

<sup>10</sup> (Fair, G; Gayer, J. y Okun, D; (1999). Purificación de Aguas y tratamiento y Remoción de Aguas Residuales)

**CAPITULO I**  
**PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO**

## 1.1 PROPUESTA DEL TREN DE TRATAMIENTO.

En la antigüedad la calidad del agua solo se calificaba por su aspecto, sabor, olor y color, actualmente gracias a la ciencia y tecnología se han creado técnicas y procesos capaces de identificar y remover contaminantes, reduciendo con esto las enfermedades de transmisión. Por este motivo, la protección de la salud ha sido el principal parámetro del control en la contaminación del agua, ya que esta se contamina cuando la descarga de residuos no controlados reducen su calidad, o perturba el equilibrio ecológico natural. Los contaminantes que causan este tipo de problemas, son básicamente organismos patógenos, materia orgánica, sólidos, nutrientes, sustancias tóxicas, espumas y materiales radiactivos.<sup>4</sup>

En el caso del uso del agua residual sin tratamiento (aguas negras), que es utilizada para el riego agrícola, favorece a diversos factores, como el aumento en la producción de cultivos, esto debido a la gran cantidad de materia orgánica y nutrientes, pero a su vez causa problemas como la obstrucción de los sistemas de riego, contaminación de mantos freáticos, y además de riesgos en la salud por el consumo de productos expuestos al agua residual, así como peligro para los agricultores y animales expuestos a este tipo de cultivos. Tal es el caso del Valle del Mezquital (por citar solo un ejemplo), donde los agricultores que están en contacto con el agua residual no tratada a través del riego, tienen una mayor probabilidad de infección por *Áscaris*, debido a la alta concentración de coliformes fecales en este tipo de aguas, Por lo que es necesario utilizar procesos de tratamiento, que permitan producir efluentes aptos de acuerdo a los objetivos de rehusó, en nuestro caso, el rehusó para riego agrícola.<sup>20</sup>

---

<sup>4</sup> (Behri, A. (1999). Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water)

<sup>20</sup> (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1985) Evaluación del control de la contaminación para el rehusó agrícola del agua residual)

Los procesos para el tratamiento de aguas residuales, se basan en la eliminación de contaminantes, hasta alcanzar los valores límites establecidos en la Normas y Estándares nacionales o internacionales. Para la separación de contaminantes, existen tres clases principales de procesos de tratamiento; los físicos; que dependen esencialmente de las propiedades físicas, de las impurezas como son el tamaño de partícula, viscosidad, etc. Los biológicos; que utilizan reacciones bioquímicas para remover impurezas solubles o coloidales, principalmente sustancias orgánicas. Y finalmente los Químicos; que dependen de las propiedades químicas de las impurezas, o de las propiedades químicas de los reactivos agregados.<sup>16</sup>

El tratamiento primario, el cual pertenece a los procesos fisicoquímicos, es un proceso en el cual, se añaden reactivos químicos al agua, para la eliminación de sólidos suspendidos, materia coloidal y materia orgánica, que se evalúa como DQO (demanda química de oxígeno), como lo marca la bibliografía, autores que también han determinado la viabilidad de su empleo en el tratamiento con fines de reuso agrícola; este sistema tiene que ver con tres aspectos principales; la desestabilización de los coloides ( coagulación), la formación de floculos (floculación) y la eliminación de estos por fenómenos de flotación y sedimentación.<sup>22</sup>

Durante la coagulación se realiza la neutralización de las cargas, mediante la adición de coagulantes, que pueden ser sales de aluminio, hierro o algún policloruro de aluminio. Mientras que en la floculación los coágulos se aglomeran mediante la atracción de las partículas con el aglutinamiento. El aglutinamiento de las partículas, es un mecanismo que se desea realizar una vez que las cargas eléctricas hallan sido

---

<sup>16</sup> (Jiménez B. y Ramos J. (1997). Revisión de los criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Riego Agrícola)

<sup>22</sup> (Metcalf & Eddy (1981). Tratamiento de Depuración a las Aguas Residuales.)

neutralizadas, y para esto se puede adicionar algún tipo de flocúlate, como los polímeros aniónicos ó cationicos de alto peso molecular, que permiten que los flóculos se aglomeren.

Una de las consideraciones más importantes que se deben tomar en cuenta en la coagulación-floculación, es el gradiente de mezcla y se realiza en dos etapas; En la primera se realiza un mezclado rápido para dispersar el coagulante, y la segunda tiene la finalidad de promover la formación y aumento de tamaño de los flóculos. De estas dos etapas depende el éxito de la remoción de las partículas en el sistema. Adicionalmente el tipo y la dosis del coagulante que se aplica al sistema representan un costo considerable en la operación. <sup>27</sup>

## **1.2 BASES DEL PROYECTO**

A continuación, se describe la distribución del tren de tratamiento y las diferentes estructuras que conformarán el proyecto.

El nivel del terreno natural en el sitio corresponde a la elevación de 2,240.20 msnm. Se tienen:

Entre las estructuras más importantes del tren de tratamiento se cuenta con:

- ❖ Tres tanques de los sistemas biológicos que son aerobio, facultativo Y desnitrificación: Estructuras de concreto parcialmente enterradas agrupadas en un arreglo de dos tanques por sistema, con dimensiones en planta de 22.25 metros (m) de ancho por 65.00 m de longitud; las descargas que estos

---

<sup>27</sup> (Sana R. y Ribas J. (1999). Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos)

tanques transmitirán al terreno, al nivel de desplante, serán del orden de 8.07 y 8.15 toneladas por metro cuadrado (ton/m<sup>2</sup>).

- ❖ Sistema de pretratamiento: Consistirá de dos cárcamos cilíndricos de 3.33 m de diámetro interior, alojados en el terreno a 11.60 m de profundidad respecto al nivel actual del terreno natural; estas estructuras transmitirán al subsuelo al nivel de desplante, presiones de contacto del orden de 19.09 toneladas por metro (ton/m) debido a su peso propio más el peso del agua contenida por las mismas, a estos elementos se conectará un tubo de 1.524m de diámetro interior, proyectado a 8.20 m de profundidad a su eje medio.
  
- ❖ Estructura de tratamiento físico-químico: Incluye un tanque parcialmente enterrado y una estructura de tipo superficial, con altura de 11.25 m, de dos niveles, para el caso del tanque, su peso propio más el del agua que contendrá producirá una descarga de 8.88 ton/m<sup>2</sup> al terreno de cimentación; el tanque del sistema friccionador y mezclador, también será una estructura parcialmente enterrada y producirá una descarga de 15.48 ton/m<sup>2</sup>.

Además, se tienen estructuras complementarias como: oficinas de servicios de un nivel, subestación y cisterna. Los datos de las descargas arriba mencionados fueron obtenidos del análisis de las descargas del proyecto estructural.

### **1.2.1 Volumen de ventas**

El gasto generado para la construcción de una planta de tratamiento, puede ser amortizado, con la venta del producto final, en este caso el agua tratada. Muchas empresas que invierten en este tipo de proyectos pueden recuperar parte de la

inversión y con una proyección a futuro generar ganancias. El agua tratada puede ser vendida a otras empresas que consumen grandes cantidades de agua, y utilizarse en sus procesos básicos como agua para torres de enfriamiento, agua de servicios, agua para servicios sanitarios y riego de áreas verdes. Con estas medidas la empresa que compra el agua tratada, tiene un consumo menor de agua potable que se refleja en la disminución del gasto corriente, ya que es más barato consumir agua tratada, que agua potable para servicios auxiliares.

En el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales del "Llano" no es el caso, ya que el agua tratada se utilizara directamente al riego agrícola y el Gobierno del Distrito Federal no recupera la inversión, por que no vende el agua para riego, si no que se tiene como un servicio a la comunidad ejidal. El GDF no puede vender el agua tratada, ya que en esta zona no existen grandes empresas, es decir no es zona industrial, si no agrícola.

Para evaluar el costo por metro cúbico de agua tratada, sé determino de acuerdo al producto útil tratado, es decir, 250 litros por segundo, que equivale a:

Producto útil (l.p.s.):	250
Producto útil (m <sup>3</sup> /diario)	21,600
Producto útil (m <sup>3</sup> /mes)	648,000
Producto útil (m <sup>3</sup> /año)	7'776,000

### **1.2.2 Precio de venta**

El precio de venta por m<sup>3</sup> es de \$8.00.

El incremento en el precio de venta por inflación, de manera conservadora, es del 15.57%.

El Costo de Ventas está compuesto por:

Reactivos	CANT.	Precio.	\$ M <sup>3</sup>
Cal	0.1000kg	\$0.45	\$0.05
Sulfato de aluminio	0.0450kg	\$2.50	\$0.11
Flocúlate	0.0010kg	\$45.50	\$0.05
Zeolita	0.0400kg	\$5.90	\$0.24
	CANT.	Precio.	\$M <sup>3</sup>
	0.6703	\$0.5442	\$0.36

#### Energía eléctrica

Tarifa 6, servicio Publico de bombeo de aguas potables y negras (Dic.97 \$0.48880 actualizada a Sep. 98 a razón de 1.2% mensual).<sup>3</sup>

$$\text{PU } \$0.48880 \times \$M^3$$

Para el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales el Llano, como esta a cargo del Gobierno del Distrito Federal, no se cobra consumo de energía eléctrica, esto debido a los convenios que existen entre la Comisión Federal de Electricidad y el GDF.

#### Manejo de lodos

3 viajes por día a \$250.00 por viaje	PU	\$M3
	\$0.0185	\$0.02

<sup>3</sup> (American Water Work Association (AWWA) (1998). Water Quality treatment)

## Mano de Obra

4 operadores en 3 turnos con salario mensual integrado de \$3,000.00.

	PU	\$M <sup>3</sup>
Mantenimiento y conservación	\$0.11	\$0.11
1.5% anual sobre el monto de la Inversión		

**Incremento en el Costo:** Se considero el mismo incremento por inflación, que en el precio de venta.

**CAPITULO II**  
**PRETRATAMIENTO**

## **2.1 PRETRATAMIENTO PARA SEPARACIÓN FÍSICA.**

El pretratamiento es la etapa previa al tratamiento en sí del agua residual. En esta etapa se retiran los sólidos inorgánicos y orgánicos sedimentables o flotantes, principalmente mediante la obstrucción del paso a los compuestos a retirar, y por medio de sedimentación, reduciendo así la velocidad de flujo.

El sistema de pretratamiento tiene por objetivo, el proteger a la planta de tratamiento de la llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades.

Separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua cruda, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos o complicar la realización de los mismos.

Esta operación puede ser más o menos eficaz dependiendo de la rejilla primaria que se coloque, este tipo de rejillas pueden ser de limpieza manual o de limpieza automática (equipo necesario a partir de una cierta importancia a la planta)

A continuación se describe cada uno de los equipos que conforman esta etapa de tratamiento, explicando básicamente su función dentro del proceso de pretratamiento.

Además se muestra también, el diagrama del proceso de pretratamiento, indicando la entrada del influente (agua negras) y su disposición a la siguiente etapa del proceso.

## **2.2 COMPUERTA.**

La función de la compuerta será el bloqueo del caudal hacia la planta, para facilitar con ello las labores de mantenimiento en el cárcamo. Hecho el bloqueo con la compuerta, el caudal de los dos colectores existentes seguirá el curso que tiene actualmente.

## **2.3 CÁRCAMO.**

El cárcamo es un tanque de concreto, por el que se registra el ingreso del agua residual hacia la planta de tratamiento. Esta agua que proviene del colector, al que ya le fueron incorporados los dos caudales que actualmente se encuentran en uso, se recibe el flujo en el tanque ó Cárcamo de efluente, de manera que este tanque funciona como un separador ciclónico para densos, incluyendo arena gruesa, al mismo tiempo que permite la separación de materiales menos ligeros que el agua y con esferas mayores a los 50 mm, que es el claro de la Rejilla primaria.

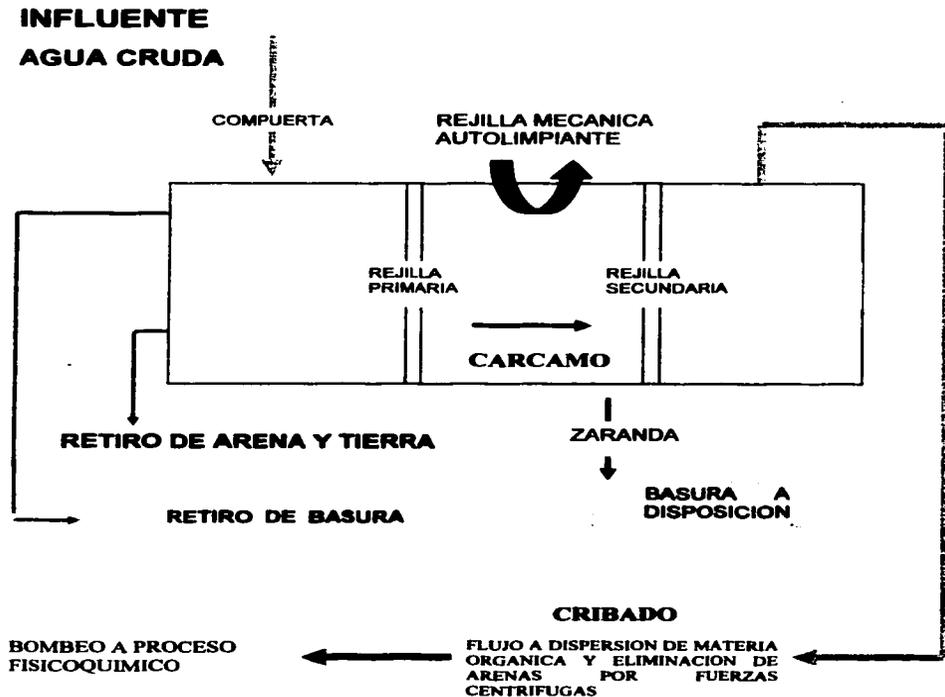
## **2.4 REJILLA PRIMARIA.**

Como primera operación unitaria en la planta de tratamiento se cuenta con la operación de desbaste. La rejilla es un dispositivo mecánico con aperturas de tamaño uniforme que se utiliza para retener los sólidos gruesos que arrastra el agua residual a tratar. La rejilla cuenta con 2 ranuras y 3 ángulos con área de paso con las siguientes dimensiones 0.5 x 1 m. Los elementos separadores son de acero al carbón estructural. Su función es la de la protección de bombas, líneas de proceso y otros elementos contra los posibles daños y obstrucciones provocados por la presencia de trapos y objetos de gran tamaño.

En esta etapa se eliminarán desechos sólidos de gran tamaño aquellos materiales que físicamente puedan separarse, además de homogenizar la calidad de entrada, y así equalizar el flujo de entrada, de las aguas residuales provenientes de los colectores habitacionales urbano-rural, y el caudal excedente se derrama a una caja derivadora como medida de seguridad.

**Figura No. 3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE TRATAMIENTO**

**PROCESO DE PRETRATAMIENTO**



## 2.5 CÁLCULO DE LA REJILLA PRIMARIA.

Dimensionamiento de la rejilla para el desbaste. Cálculo de la Pérdida de carga en la rejilla (en condiciones de limpieza continua)

$$h_1 = ((V^2 - v^2) / 2g) \cdot 10.7$$

$h_1$  = pérdida de carga (m)

0.7 = coeficiente empírico que incluyo efectos de turbulencia y de las pérdidas por formación de remolinos.

$V$  = velocidad de circulación entre las barras de la reja, (m/s)

$v$  = velocidad de aproximación a la reja, (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad, (9.8 m/seg<sup>2</sup>)

$h_1$  = 2.8 cm.

## 2.6 REJILLA MECANICA AUTOLIMPIANTE.

La Rejilla mecánica autolimpiante es utilizada para eliminación de basuras y material flotante mayor de 50mm, cuenta con una rejilla dinámica de limpieza continua, que permite que la basura retenida en la rejilla junto con los sedimentos que se separaran en el cárcamo, puedan alcanzar el nivel de piso, descargándose automáticamente en contenedores de acero, que facilitan su posterior disposición hacia el relleno sanitario más cercano.

Esto es muy importante, porque en este tipo de aguas negras se presentan fibras de algodón y de papel, estas se van armando (aborregando) y si no se eliminan causan sedimentos en el tratamiento secundario y atascamientos en las bombas.

Cantidad de basura estimada a eliminar: 50-70 Kg/h, considerando partículas

gruesas dentro 50 y 70 mm, así como sedimentos gruesos.

No. Canchilones Basuras a eliminar/(Vol. del canchilón \* velocidad)

Vol. Canchilón =  $0.0025 \text{ m}^3$

Vol. =  $0.25 \text{ r.p.m.}$

Por lo tanto, el

No. De canchilones = 12

## **2.7 CRIBADO.**

El proceso de cribado cubre funciones de separación centrífuga (arenas) y centrípeta (basura ligera), además de efectuar un trabajo de dispersión. En esta etapa se retiran arenas y basura, y se realiza la dispersión de materia fecal, celulosa y otros componentes orgánicos, con lo que se les prepara para obtener mejores resultados en la siguiente fase del tratamiento, que es la adición de aire y reactivos en el modulo de tratamiento fisicoquímico, en donde se inicia su tratamiento primario.

## **2.8 CONTENEDORES DE RECHAZO.**

Los contenedores de basura tienen la función principal de almacenar la basura que se colecta en la zona de Pretratamiento, hasta que deba ser retirada por camiones para su disposición en el relleno sanitario más cercano. Los equipos que retiran basura descargándola sobre estos contenedores pueden ser una draga hidráulica y una zaranda.

## **2.9 ZARANDA.**

El colador zaranda es una criba vibratoria, cuya función es la de retirar de la purga de los equipos de cribado, como materiales ligeros (basura) que son rechazados por éstos, mediante acción centrípeta, dejándolos con una cantidad mínima de agua, lo que facilita su manejo hacia los contenedores, para posteriormente enviarlos hacia

el relleno sanitario más próximo. El colador zaranda recibe las purgas del cribado, permitiendo la recuperación del agua que acompaña a la basura, la cual se vierte nuevamente hacia el cárcamo primario, mientras que la basura por la misma acción vibratoria de la zaranda, es rechazada por esta prácticamente sin agua y relativamente libre de otros materiales, que pudiera tener adheridos ya que la forma en la que opera el equipo propicia también un proceso de lavado.<sup>21</sup>

Tomando como base esta descripción de cada una de los equipos que conforman la etapa de pretratamiento, se presenta a continuación el arreglo general, mostrando la distribución de cada uno de los equipos.\*

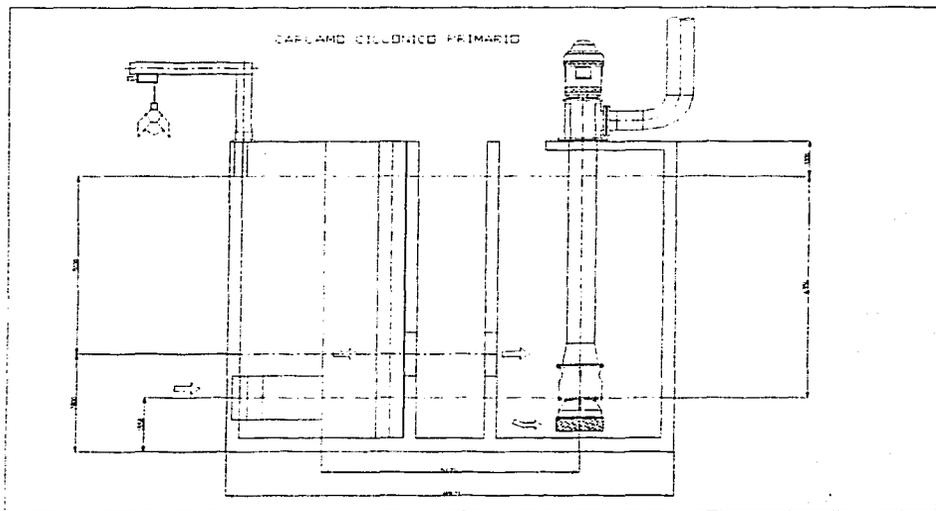
Además se muestra también con mas detalles y en diferentes cortes la estructura del cárcamo primario, señalando dimensiones, flujo de entrada y salida de agua negra.

---

<sup>21</sup> (Metcalf & Eddy /1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización)  
\* (Degremont 1979 Manual Técnico del Agua)

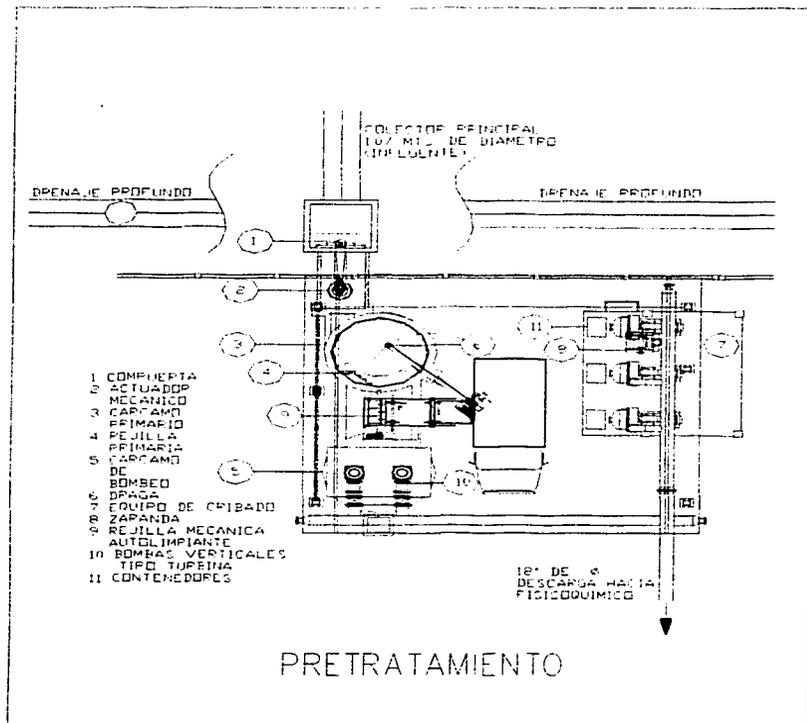


**Figura No. 5 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL CARCAMO PRIMARIO CORTE LATERAL**



TECN CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura No. 6 ARREGLO GENERAL DEL PROCESO DE PRETRATAMIENTO**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CAPITULO III**  
**TRATAMIENTO FISICOQUIMICO**

### **3.1 TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO.**

El tratamiento fisicoquímico, permite efectuar con alta eficiencia los fenómenos de separación de contaminantes por coagulación/floculación y decantación/flotación de las aguas, por su alta eficiencia de mezcla a baja presión en la tubería de proceso, se aprovechan las propiedades físicas del agua y de los componentes del aire. Con este proceso de aireación, se favorece el contacto y se asiste a la energía necesaria para que se lleven a cabo las reacciones, lo cual permite una mayor eficiencia del proceso, reduciendo así los tiempos de residencia y sustituyendo los grandes tanques de mezcla, donde se invierte mucha energía para mezclado mecánico y se requiere una mayor área de separación. En esta etapa se eliminan grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), color, turbidez, fosfatos y compuestos orgánicos volátiles, mediante la adición de coagulantes químicos y aireación. Las partículas producidas son atrapadas por un polímero aniónico produciendo fenómenos hidrofóbicos y de agrupamiento de material coagulable en fracción de segundos, permitiendo así su separación por flotación y decantación, desorción y oxidación, según sea el caso. Las grasas se separan principalmente por flotación.<sup>9</sup>

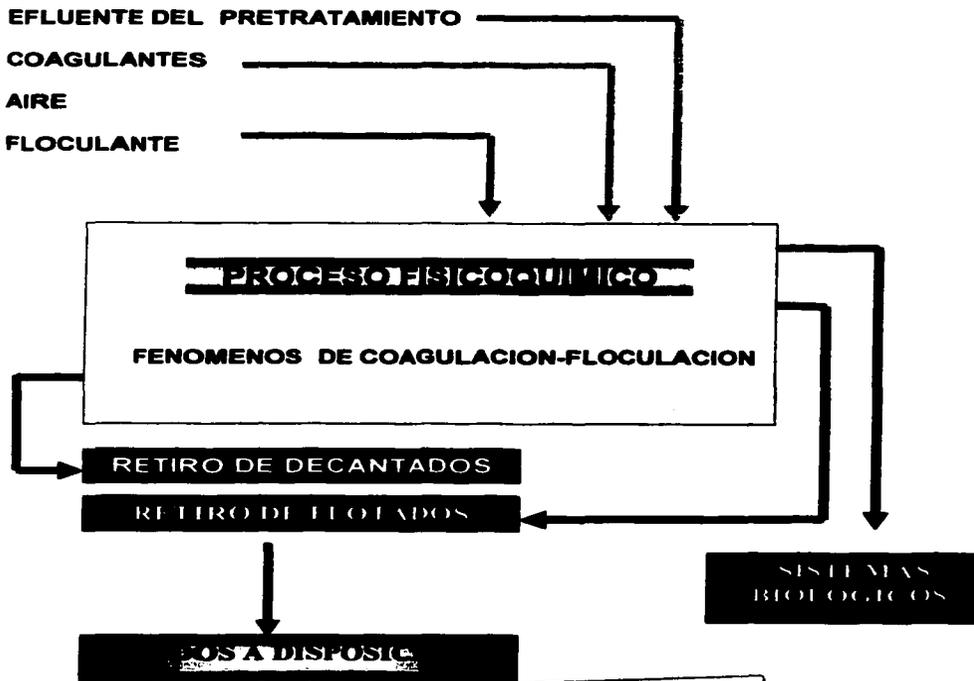
En el siguiente diagrama de bloques, se indica de manera general el funcionamiento del tratamiento fisicoquímico, mostrando además la adición de los elementos que participan directamente en esta etapa del proceso.

---

<sup>9</sup> (Degremont 1979, Manual técnico del agua)

**Figura No. 7 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO FISICOQUIMICO**

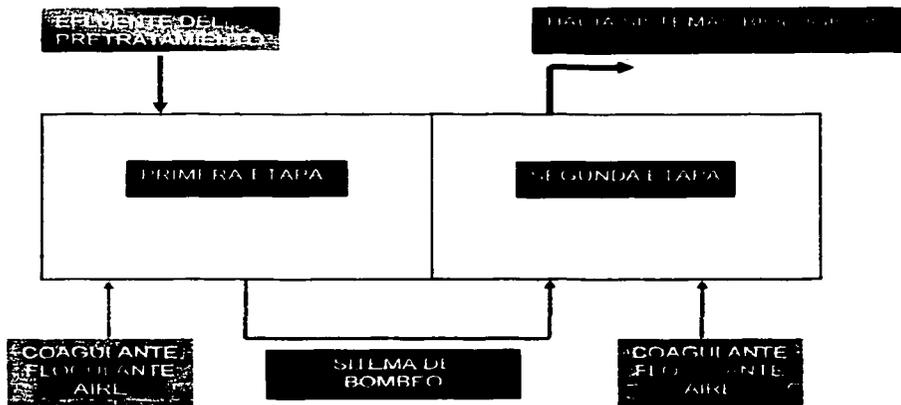
**PROCESO FISICOQUIMICO**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El tratamiento fisicoquímico se compone básicamente de dos etapas principalmente, las cuales se describen a continuación:

**Figura No. 8 ETAPAS DEL TRATAMIENTO FISICOQUIMICO**



Una vez acondicionado el efluente en el pretratamiento, libre de basuras de gran tamaño, plásticos y arenas finas, el flujo de agua es enviada a la siguiente etapa del tratamiento, este módulo ó etapa de tratamiento se le conoce como Tratamiento fisicoquímico. El agua proveniente de los filtros continuos en el área de pretratamiento será conducida a través de tuberías para iniciar su tratamiento en tanques de reacción acondicionados para esta etapa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **3.2 PRIMERA ETAPA DEL TRATAMIENTO FISICOQUIMICO.**

En esta etapa se darán los fenómenos de coagulación/floculación, y así como los procesos de flotación/decantación, para la eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión en forma de lodo ó conglomerado de flóculos.

En la primera etapa del proceso se adiciona hidróxido de calcio (cal química) como coagulante, además como el floculante líquido correspondiente. (Las dosificaciones serán determinadas previamente mediante el ensayo de pruebas de jarras). Esta adición de reactivos químicos, se prepara y dosifica mediante sistemas mecánicos, los cuales se mezclaran con el efluente para hacerlos llegar al primer tanque de reacción flotación/decantación, dando el tiempo necesario para la separación y contacto a los productos de las reacciones inducidas en la primera etapa.

En esta primera etapa, sé logra la separación de gases producto de la oxidación y sólidos suspendidos, para su posterior separación. El sistema de tratamiento fisicoquímico permite efectuar con alta eficiencia los fenómenos de separación de contaminantes.

También en esta primera etapa de tratamiento se inyecta aire (tratamiento de aireación), que favorece el contacto entre reactivos y contaminantes, esto proporciona la energía necesaria para que se lleven acabo las reacciones, lo cuál permite una mayor eficiencia del proceso. En esta etapa se eliminan grasas y aceites, sustancias activas al azul de metilino (SAAM), color, turbidez, fosfatos y compuestos orgánicos volátiles, mediante la adición de coagulantes químicos y aireación. El aire que es inyectado, favorece la floculación con la ayuda del

Polímero cationico, produciendo un fenómeno hidrofóbico y de agrupamiento del material coagulante en fracción de segundos, permitiendo así su separación por flotación y decantación, desorción y oxidación, según sea el caso.<sup>10</sup>

### **3.3 SEGUNDA ETAPA DEL TRATAMIENTO FISICOQUIMICO.**

El PH de la primera etapa, deberá estar en un rango de 9.6-10. En este paso, el agua clarificada y libre de gases como sulfuros y carbonatos, es conducida hacia un sistema de bombas centrifugas, las cuales la impulsarán hacia la segunda etapa del tratamiento fisicoquímico, donde previamente se aplica la última parte de la dosis de sulfato de aluminio como agente coagulante. La segunda y última dosis de flocúlate se prepara y es adicionada a la entrada del segundo tanque de reacción, con la previa incorporación del aire para aumentar la superficie de contacto y la velocidad de reacción.

Para mantener bajo vigilancia el funcionamiento de esta etapa del proceso se efectúa un monitoreo constante del pH, el cual permanecerá en un rango entre 8.0-8.5.

Los lodos producidos en los tanques de flotación - decantación durante la etapa del tratamiento fisicoquímico son enviados a equipos especiales para su disposición, donde posteriormente serán acondicionados para eliminar el agua libre y parte de la humedad relativa para su disposición final.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> (Fair, G; Geyer, J. y Okun, D; (1999). Purificación de Aguas y tratamiento y Remoción de Aguas Residuales)

<sup>11</sup> (Hernández A; (1998). Depuración de Aguas Residuales. 4a Edición, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos)

### **3.4 MODELO DEL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO.**

El modelo de tratamiento fisicoquímico, se basa principalmente en los fenómenos de coagulación/floculación y decantación/flotación.

Se llama Coagulación/Floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se usa para:

Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente; Remoción de color; Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación; Destrucción de algas y planton en general; así como la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos entre otros.

Existen básicamente dos aspectos fundamentales en los fenómenos de Coagulación/Floculación:

- 1). La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.

Esta desestabilización se efectúa, generalmente, por la adición de reactivos químicos, que por medio de mecanismos de agregación o de absorción anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrífilla de las partículas coloidales.

- 2). El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto entre si, ya que generalmente se establecen puentes entre si, para formar una malla tridimensional de cuagulos porosos.

Esta aglomeración de los coloides "descargados", que resulta de diversas fuerzas de atracción entre las partículas puestas en contacto, en primer lugar por movimiento browniano, hasta la obtención de un grosor de 0.1 micras aproximadamente, y después por agitación mecánica exterior, que conduce a un tamaño suficiente de los flocúlos.

Entre los especialistas del tratamiento de aguas residuales, se reserva el termino "coagulación" para determinar el fenómeno de desestabilización y el de "floculación" para la aglomeración de los coloides descargados. A los reactivos correspondientes se les llama respectivamente, coagulante y flocúlate.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al flujo a tratar, y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, donde actúan directamente la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. Existen mecanismos pueden actuar en este fenómeno: el de adsorción-desestabilización, basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, el del puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides, y el de sobresaturación de la concentración de coagulantes en el agua.<sup>3</sup>

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores.

Un polímero puede definirse como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeros, unidas por enlaces covalentes que se

---

<sup>3</sup> (Caldersa, C: (1998). Influencia del Régimen de Mezclado y del Momento de Adición del Polímero en el Tratamiento Primario Avanzado)

repiten sucesivamente. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica.<sup>12</sup>

El empleo sistemático de sales minerales de cationes polivalentes como coagulantes, data de los últimos años del siglo pasado. En esta Época, se establecieron sus leyes, que muestran que la acción coagulante es función de la valencia del Ion que posee una carga opuesta a la de las partículas. La coagulación se efectúa tanto mejor cuanto mayor es esta valencia (Teoría de Schuize-Hardy).

Actualmente basado en esta teoría se entiende que las sales de hierro y de aluminio trivalente han sido y continúan siendo, las mas utilizadas en todos los tratamientos de coagulación del agua.

Sin embargo, estos coagulantes, debido a la hidrólisis que experimentan, presentan el inconveniente de modificar las características fisico-químicas del liquido separativo (ph-conductividad) En dosis fuertes, producen un exceso de fangos que generalmente generan un gran problema, por otra parte, estos agentes no dan siempre un precipitado que posea las características deseadas para una buena separación.

Por estas razones se ha recomendado el empleo de floculantes: En primer lugar productos de origen mineral (sílice activada) u orgánico (almidones) y más tarde productos de síntesis (polímeros de masa molar elevada), denominados polielectrolitos.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> (Heinermann, B: (1994). Coagulation and Flocculation of Streamwater from a Separate Sewer System a New Possibility for Enhanced Treatment)

<sup>13</sup> (Hall, E. and A.R.C.S. (1996). The Coagulation Process, Part 3. Water Research Association. Technical paper)

### **3.5 PRUEBA DE JARRAS.**

Para determinar la cantidad en la dosificación de reactivos químicos, se realizarán pruebas de laboratorio, que se conocen como "PRUEBAS DE JARRAS". Este proceso consiste básicamente en la Simulación del proceso de coagulación / floculación.

Estos sistemas consisten en simular en unos vasos de precipitados o "jarras" el proceso de coagulación/floculación que se produce en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante ó al final de los ensayos para caracterizar el funcionamiento de los productos químicos adicionados.

Para la simulación del proceso, se requiere del equipo de jarras, el cual consta con un motor de velocidad variable y varias propelas, para cada una de las pruebas.

Para ello se toman cantidades iguales de agua para cada una de las pruebas, que generalmente es de ½ a 1 litro de agua. Se prepara y se adiciona el coagulante y flocúlate, con diferente concentración en cada prueba, se colocan las propelas a una velocidad constante y se evalúan los efectos de remoción.

Con los sistemas de simulación, se lleva a cabo la determinación de las dosis óptimas mediante:

#### **1. Evaluaciones cualitativas.**

- a). Tamaño del floc producido.
- b). Tiempo inicial de formación de floc.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 2. Evaluaciones cuantitativas:

- a). Determinaciones físicas (pH, turbiedad, color).
- b). Determinaciones químicas (DQO, sólidos, alcalinidad, dureza).
- c). Determinación de las dosis óptimas.<sup>14</sup>

La presencia en el agua de diversas sustancias sólidas constituye, indudablemente la parte más importante y aparente de la contaminación.

Debe eliminarse esta parte sólida para evitar gran número de inconvenientes, de los cuales los más importantes son: Obstrucción de conducciones, abrasión de bombas o de órganos de medida, desgaste de materiales diversos, etc.<sup>5</sup>

---

<sup>14</sup> (Hurtado C; (1996). Elección de un Coagulante y un Floculante para el Tratamiento del Agua del Valle de México)

<sup>5</sup> (Calderrón, C; (1998). Influencia del Régimen de Mezclado y del Momento de Adición del Polímero en el Tratamiento Primario Avanzado)

### **3.6 DOSIFICACION DE REACTIVOS QUÍMICOS.**

Los coagulantes utilizados en la planta de tratamiento son el hidróxido de calcio (cal) y sulfato de aluminio.

Los equipos empleados para efectuar la dosificación de reactivos son los siguientes:

#### **3.6.1 DOSIFICACIÓN DE CAL**

Para la dosificación se contara con un edificio de reactivos químicos localizado a un costado de los tanques del tratamiento fisicoquímico.

El equipo cuenta con un dosificador de velocidad variable y una platina que permite que la cal se deposite en cada uno de los cilindros, los cuales al pasar por un orificio de un tubo de 2" permite adicionar una cierta cantidad de cal al dosificador, donde se lleva a cabo la mezcla con agua de servicios, y así formar la lechada de cal, que posteriormente se dosifica con una bomba de engranes al primer paso fisicoquímico.<sup>1</sup>

#### **3.6.2 DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO**

El tren de tratamiento contara con un sistema de dosificación de sulfato de aluminio líquido.

El sistema de dosificación de sulfato de aluminio en solución, se realiza por medio de una bomba dosificadora. La preparación del sulfato de aluminio líquido, se realiza alimentando por la parte superior del tanque, la cantidad de 125 Kg. de sulfato de aluminio en polvo, esto con la ayuda de la rejilla de acero inoxidable que se

---

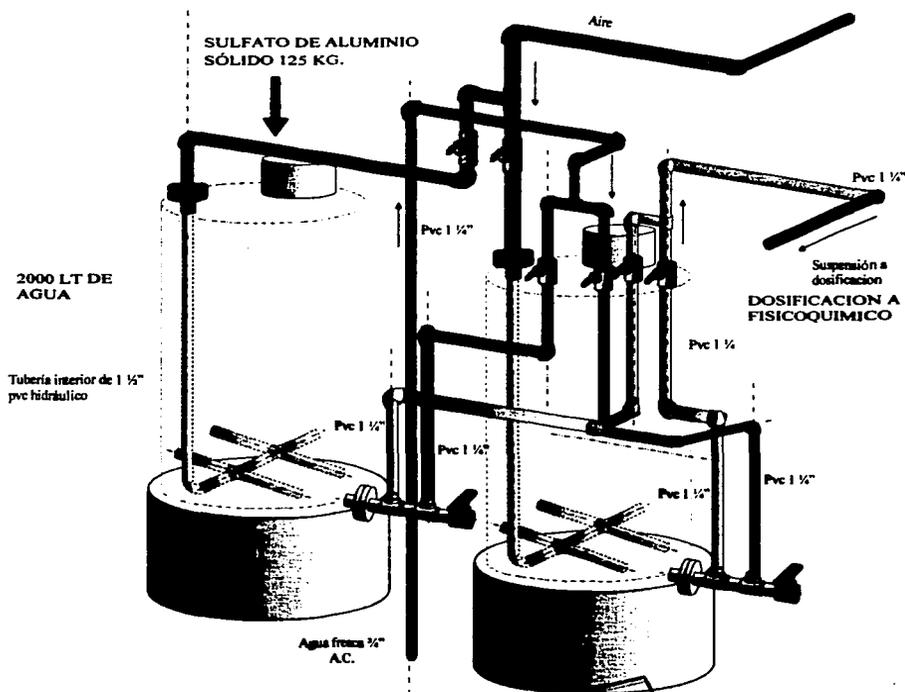
<sup>1</sup> (Aldana, J.; (1996). Evaluación de la Cal como coagulante y Estudio de Mecledeo para tratar Agua Residual del Valle de México)

encuentra en la tapa del tanque de fibra de vidrio, con capacidad de para 2000lt, este tanque además cuenta con un difusor de aire, el cual cumple con la función de disolver el sulfato en el agua (agua fresca), se debe agregar lentamente el sulfato en polvo para evitar que el material no se disuelva adecuadamente, y se formen grumos en la parte inferior del tanque. Una vez disuelto el sulfato de aluminio en el tanque se abren las válvulas de 1 1/2" en P.V.C. para iniciar la dosificación de la solución de sulfato al segundo paso fisicoquímico, mediante una bomba centrífuga para la dosificación.

### **3.6.3 DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE**

El equipo para dosificación de flocúlate cuenta con dos tanques cilíndricos de acero inoxidable con capacidad de 900lt cada uno; el primer tanque se utiliza para la preparación y maduración del polímero, el cual cuenta con un mezclador formado por una propela, y un motor de 1 HP. El polímero utilizado casi siempre es en forma líquida y se agregan aproximadamente 1.8 litros (esto depende de cada polímero y del tipo de agua a tratar). El reactivo preparado es enviado a un segundo tanque de maduración de 1500 litros, donde es dosificado mediante un sistema de bombeo para su aplicación a los pasos de reacción, la dosificación es mediante una bomba duplex de desplazamiento positivo en acero inoxidable y estructura en acero al carbón con motor de 1/2 H.P marca ABB 440 V, 60 Hz. El reactivo es aplicado en puntos principales de acuerdo a las políticas de operación establecidas.

**Figura No. 9 DIAGRAMA DE LA DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO**



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 3.7 CALCULO PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO, PARA EL RETIRO DE LODOS EN EL TANQUE FISICOQUIMICO

Para llevar a cabo la succión y descarga de los lodos del tanque fisicoquímico, se dispondrá de equipo de bombeo, mismo que se instalará lo más cercano al tanque. El equipo será: una bomba centrífuga horizontal para un caudal de bombeo de 25 litros por segundo.<sup>25</sup>

- ❖ Determinación de la carga dinámica
- ❖ Cálculo de diámetro de línea de conducción

El ámbito de velocidad para líneas de conducción a presión  
Oscila entre 1.00 y 1.50 m/s

#### DATOS

Gasto (  $Q_r$  ) = 0.025 m<sup>3</sup>/s

Velocidad de diseño = 1.50 m/s

Aplicado la ecuación de continuidad, se tiene lo siguiente:

$$Q_r = V \times A$$

$$A = \frac{Q_r}{V}$$

$$A = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{1.50 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.0166 \text{ m}^2$$

Por lo tanto el diámetro es:

<sup>25</sup> (Perry, John Howard, Manual del Ingeniero Químico)

$$\phi = \left( \frac{4A}{\pi} \right)^{0.5}$$

$$\phi = \left( \frac{4 \times 0.0166}{\pi} \right)^{0.5}$$

$$\phi = 0.146 \text{ m}$$

$$\phi = 5.73''$$

Diámetros comerciales

$$4'' < 5.73'' < 6''$$

Revisando velocidades para 4" y 6"  $\phi$

$$V_{4''} = \frac{Qr}{A_{4''}}$$

$$V_{4''} = \frac{0.025 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.0081 \text{ m}^2}$$

$$V_{4''} = 3.08 \text{ m/s}$$

$$V_{6''} = \frac{Qr}{A_{6''}}$$

$$V_{6''} = \frac{0.025 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.0182 \text{ m}^2}$$

$$V_{6''} = 1.37 \text{ m/s}$$

El diámetro seleccionado es de 152.4 mm (6")<sup>22</sup>

<sup>22</sup> (Valiente Banderas Antonio/ Jaime Noriega. Manual del Ingeniero químico)

## PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN Y PIEZAS ESPECIALES\*

Datos:

Gastos ( Qr )	0.025 m <sup>3</sup> /s
Coeficientes de rugosidad (n)	
Acero	0.014
Fierro fundido	0.014

Utilizando la siguiente expresión:

$$hf = \left( \frac{3.2084 \times n \times Q}{D^{8/3}} \right)^2 \times L$$

Donde:

hf	=	Pérdida de carga ( m.c.a. )
n	=	Coefficiente de rugosidad
Q	=	Gasto ( m <sup>3</sup> /s )
D	=	Diámetro de conducción ( m )

\* (Clemente Reza García, Flujo de Fluidos en válvulas y accesorios y tuberías, preparado por la División de Ingeniería del Crane)

**Tabla No. 3 CALCULO DE PERDIDAS POR FRICCIÓN Y PIEZAS ESPECIALES<sup>2</sup>**

Pieza	Diámetro		Gasto L.p.s.	Longitud equivalente (m)	Número de piezas	Longitud total (m)	Kf (m.c.a.)
	mm	Pulg					
<b>Codo 90°</b>	<b>101.6</b>	<b>4</b>	<b>25.00</b>	<b>2.25</b>	<b>2</b>	<b>4.5</b>	<b>1.124</b>
<b>Válvula Check</b>	<b>101.6</b>	<b>4</b>	<b>25.00</b>	<b>8.50</b>	<b>1</b>	<b>8.50</b>	<b>2.122</b>
<b>Válvula compuerta</b>	<b>101.6</b>	<b>4</b>	<b>25.00</b>	<b>0.70</b>	<b>1</b>	<b>0.70</b>	<b>0.175</b>
<b>Tubería Ac.</b>	<b>101.6</b>	<b>4</b>	<b>25.00</b>	<b>5.50</b>	<b>1</b>	<b>5.50</b>	<b>1.373</b>
<b>Tee de Ac.</b>	<b>101.6</b>	<b>4</b>	<b>25.00</b>	<b>2.25</b>	<b>2</b>	<b>4.50</b>	<b>1.123</b>
<b>Tubería Ac.</b>	<b>152.4</b>	<b>6</b>	<b>25.00</b>	<b>2.50</b>	<b>1</b>	<b>2.50</b>	<b>0.072</b>
<b>Codo 90°</b>	<b>152.4</b>	<b>6</b>	<b>25.00</b>	<b>5.00</b>	<b>2</b>	<b>10.00</b>	<b>0.574</b>
<b>Tubería Ac.</b>	<b>152.4</b>	<b>6</b>	<b>25.00</b>	<b>44.00</b>	<b>1</b>	<b>44.00</b>	<b>1.263</b>
<b>Codo 45°</b>	<b>152.4</b>	<b>6</b>	<b>25.00</b>	<b>3.40</b>	<b>1</b>	<b>3.40</b>	<b>0.098</b>
<b>Tee de Ac.</b>	<b>152.4</b>	<b>6</b>	<b>25.00</b>	<b>3.40</b>	<b>1</b>	<b>3.40</b>	<b>0.098</b>
							<b>7.963</b>

## CARGA DINAMICA

Tanque fisicoquímico/ retiro de lodos en el clarificador primario

Desnivel estático

Nivel de llegada	2.757 mts
Nivel mínimo en cárcamo	1.050 mts
Diferencia	1.707 mts
Pérdidas por conducción	7.993 mts
Carga dinámica	9.70 mts

### 3.7.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Datos:

Gasto de bombeo, (Q)	25 l.p.s.
Carga dinámica, (H)	9.70 mts
Eficiencia, ( $\eta$ )	86.50 %

Potencia (Pot)

$$\text{Pot} = \frac{Q \times H}{\eta \times 76}$$

$$\text{Pot} = \frac{25 \times 9.70}{0.865 \times 76}$$

$$\text{Pot} = 3.70 \text{ H.P.}$$

## EQUIPO SELECCIONADO

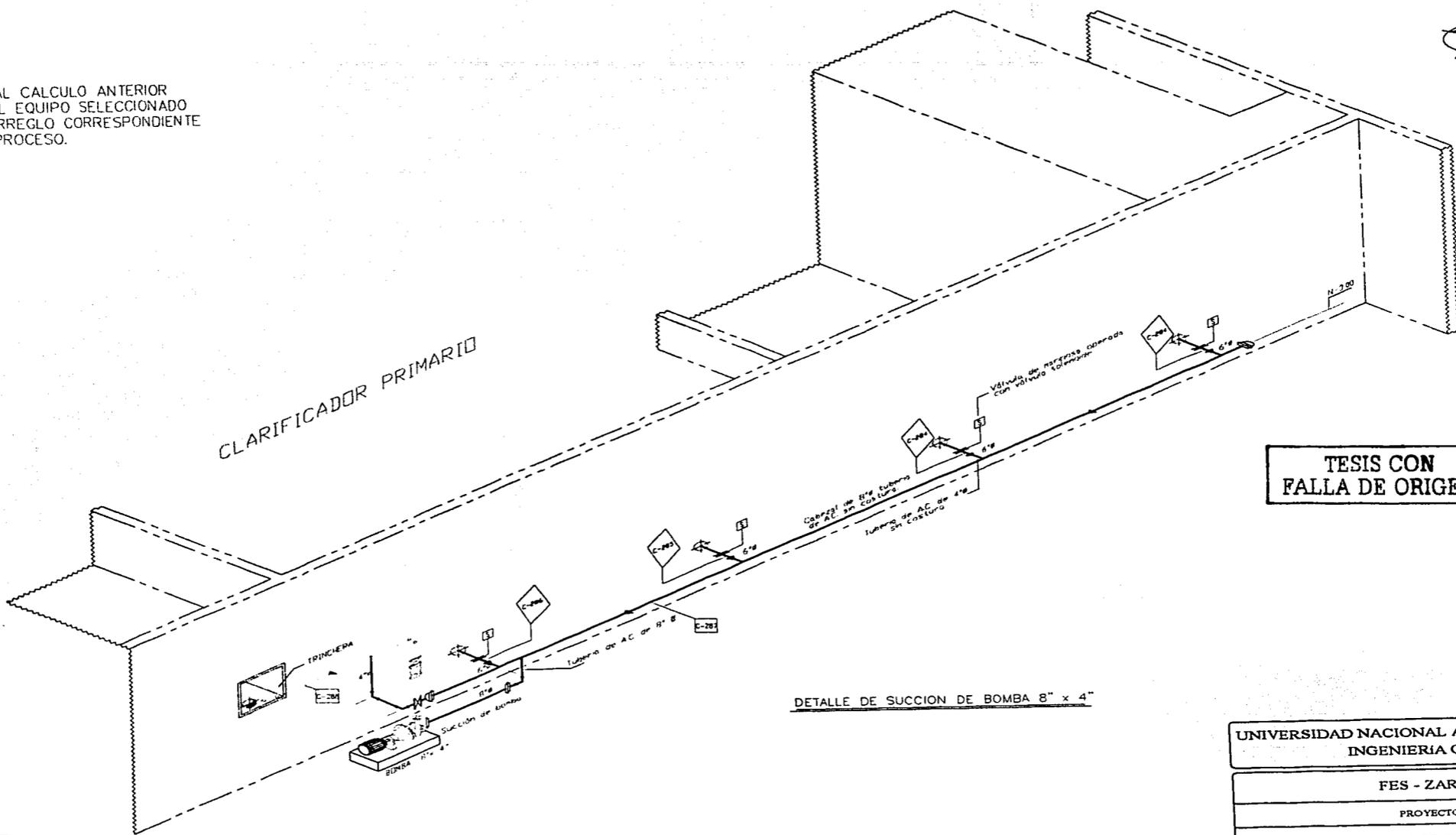
Bomba centrífuga horizontal, modelo 8 x 4 (8" de succión y 4" de descarga) para manejar un gasto de 25 l.p.s. (litros por segundo) contra una carga dinámica de 10 m.c.a.(metros columna de agua), eficiencia mínima de 86.50 %, 865 r.p.m.(Revoluciones Por Minuto), acoplada a motor eléctrico de 5.0 H.P.(Caballos de Fuerza), f.s. (Factor de Servicio)1.15, 4 polos, 220/440Volts., 3 fases, 60 Hertz.<sup>2</sup>

A continuación se muestra el arreglo general del equipo seleccionado, en la etapa correspondiente al proceso fisicoquímico, además se desglosa en diferentes secciones la bomba 8 X 4 (8" de succión y 4" de descarga) con la distribución de sus accesorios.

---

<sup>2</sup> ( Alan Foust, Principles of Unit Operations, New York Unit Operations )

EN BASE AL CALCULO ANTERIOR  
ESTE ES EL EQUIPO SELECCIONADO  
CON SU ARREGLO CORRESPONDIENTE  
PARA EL PROCESO.



CLARIFICADOR PRIMARIO

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DETALLE DE SUCCION DE BOMBA 8" x 4"

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
INGENIERIA QUIMICA

FES - ZARAGOZA

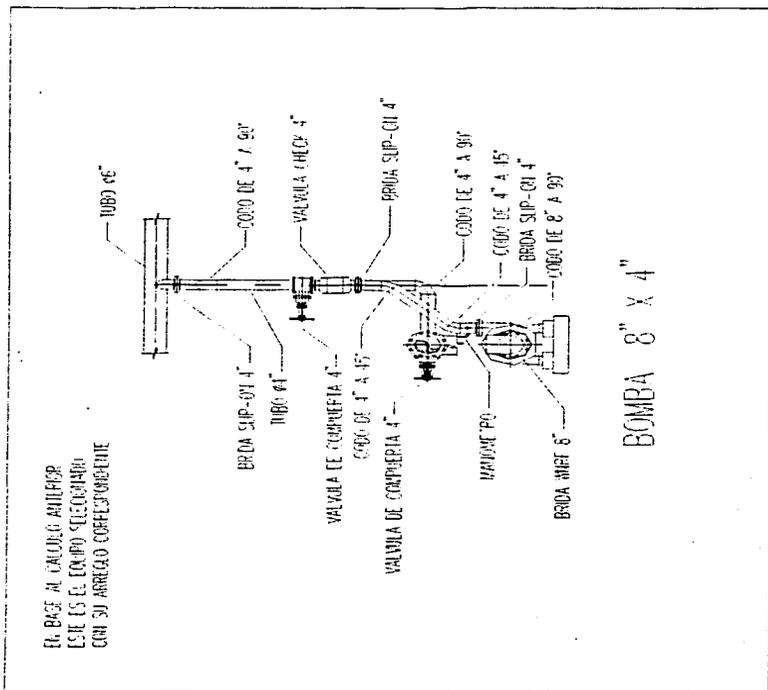
PROYECTO TESIS

ARREGLO GENERAL DEL CLARIFICADOR PRIMARIO

FECHA: A GOBIERNO / 2005 DISEÑO: UNAM-1-001

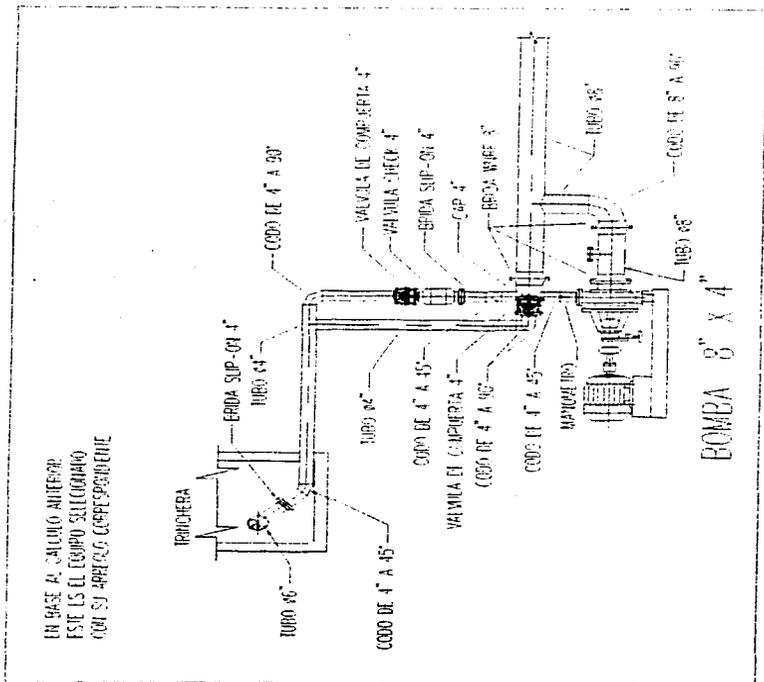
PLANO N°	DESCRIPCION	N°	DESCRIPCION
		1	PLANTA GENERAL
		2	PLANTA DE SECCION DE BOMBAS

**Figura No. 10 ARREGLO GENERAL DE LA BOMBA 8 X 4 VISTA FRONTAL**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura No. 11 ARREGLO GENERAL DE LA BOMBA 8 X 4 VISTA LATERAL**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CAPITULO IV**  
**TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

#### **4.1 DESCRIPCION DEL PROCESO ALTERNO PARA LA SECUENCIA OPERATIVA DE LOS MODULOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.**

Los tratamientos biológicos han sido utilizados por mas de 100 años, para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales; Este tipo de tratamiento se inicio principalmente en Estados Unidos y la Gran Bretaña, con las granjas de aguas negras y continua a través de los filtros intermitentes de arena y los lechos de contacto, hasta los filtros goteadores y las unidades de lodos activados.

En un principio el tratamiento comenzó como una practica agrícola, las aguas negras de los sistemas urbanos de drenaje se vertían en los campos, los cuales podían irrigar y enriquecer los suelos de materia orgánica y nutriente. Solo hasta que se escaseo la tierra y disminuyeron los ingresos de las propiedades irrigadas con aguas negras se abandono esta practica. Sin embargo, en los depósitos de campos de Inglaterra, se continuó el tratamiento de aguas residuales por filtración intermitente a través de arena, en tanto que pudieron intensificarse las dosificaciones y mejorarse el comportamiento mediante el pretratamiento de las aguas residuales aplicadas en tanques de sedimentación y finalmente en unidades biológicas.

El tratamiento biológico de las aguas residuales se puede realizar en la mayoría de las aguas residuales domesticas, tiene como objetivo la estabilización de la materia orgánica, esto se consigue biológicamente utilizando una variedad de microorganismos, principalmente bacterias.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> (Scragg Alan, Biotecnología para Ingenieros Sistemas biológicos en procesos tecnológicos)

En el tratamiento biológico el proceso consiste únicamente en transformar los nutrientes en tejido celular y diversos gases.

Según el tipo de agua residual a tratar, los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas residuales domésticas, los objetivos son la eliminación de materia orgánica, así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo. En aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, tomando en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en el tratamiento biológico. En función del uso de las aguas tratadas también se emplearan distintos tratamientos biológicos.

Los procesos biológicos pueden ser de cuatro tipos:

- **Procesos aerobios.** Son los procesos de tratamiento biológico, que solo se dan en presencia de oxígeno.
- **Procesos anaerobios.** Este tipo de proceso se da únicamente en ausencia de oxígeno.
- **Desnitrificación anóxica o anaerobia.** Es el proceso de tratamiento por el cual el nitrógeno de los nitritos, se transforma en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno.
- **Procesos facultativos.** Son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables del mismo, son indiferentes a la presencia o ausencia de oxígeno disuelto.

Como una etapa secundaria dentro del proceso de depuración de los contaminantes esta el tratamiento biológico, el cual trae muy buenos resultados en la disminución de contaminantes (DQO), generando biomasa como producto, esta biomasa es posteriormente eliminada por floculación, separación y estabilización, luego se destinan para relleno sanitario.

El proceso biológico consta de tres etapas, las cuales se describen a continuación y se consideran tres tanques rectangulares, en los cuales se lleva a cabo una aeración y oxidación de los compuestos orgánicos como primera etapa, con un tratamiento aerobio.

Este tipo de sistema biológico opera como un cultivo continuo en cascada, en el cual hay entrada y salida de flujos.

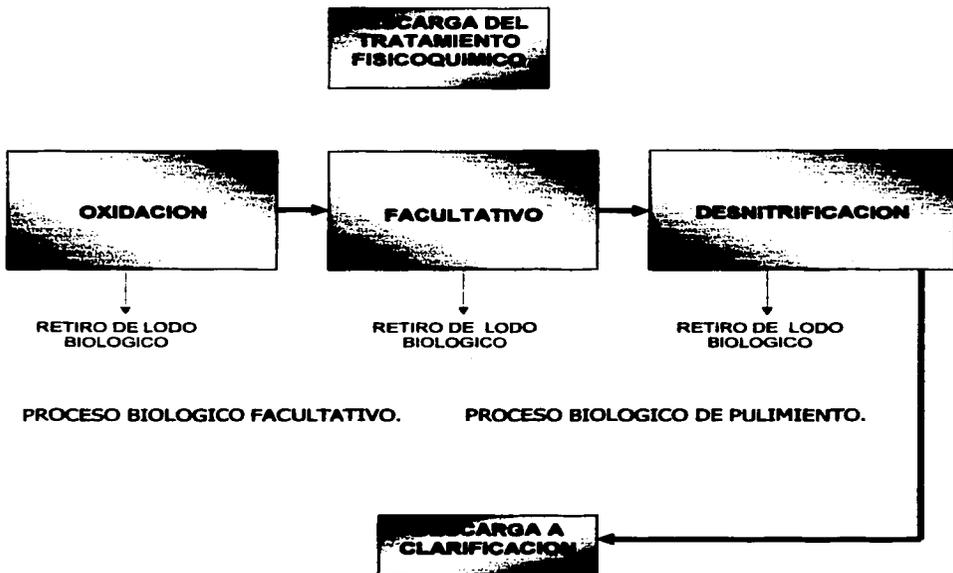
Como una alternativa de operación el sistema de tratamiento biológico, y para aumentar la eficiencia de remoción de los compuestos solubles en el flujo a tratar, el proceso puede contar con la instalación de tanques en serie, y además se pueden colocar más de dos trenes de tratamiento biológico, y de tomarse esta alternativa, se colocarían líneas de alimentación a cada tren de tratamiento, permitiendo derivar parcial o totalmente al caudal de alimentación hacia uno u otro modulo de tratamiento biológico, de acuerdo con las necesidades de operación y/o a las políticas de operación.<sup>27</sup>

A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso biológico explicando a su vez cada etapa del tratamiento.

---

<sup>27</sup> (Sans R. y Ribas J; (1999). Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos)

**Figura No. 12 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO**



PROCESO BIOLÓGICO FACULTATIVO.

PROCESO BIOLÓGICO DE PULIMIENTO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **4.2 PRIMERA ETAPA**

### **TRATAMIENTO BIOLÓGICO AEROBIO.**

El sistema aerobio consta de tanques de geometría variable, que ofrecen una gran área de contacto para la interfase aire-agua, lo que favorece los fenómenos de transferencia de oxígeno en el sistema. Otro factor importante dentro de la transferencia de oxígeno son los sistemas de aireación por burbujeo aplicado por los equipos correspondientes para la aireación ("Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho", Winkler, LIMUSA, 1998, pp.62 y 63), que mientras menor sea el tamaño de la burbuja generada, el área interfacial de contacto gas-aire aumenta, por lo que se incrementa la transferencia de oxígeno, logrando así una mayor concentración de oxígeno disuelto. Dentro del mercado nacional (tecnología mexicana) existen equipos que ofrecen la ventaja de producir burbujas menores a 1 mm, logrando un mejor proceso de transferencia de acuerdo a lo anteriormente mencionado. Se requiere la colocación de difusores que cuenten con movimiento continuo, para permitir la transferencia de oxígeno a lo largo del bio-reactor.<sup>28</sup>

La mayoría de los compuestos orgánicos de la biomasa requieren de una fuente nitrogenada y solo en algunos casos en forma de nitratos, la excepción son las algas que causan la eutroficación, se alimentan de nitratos principalmente y solo algunas se nutren de amoníaco. Sin embargo, las aguas negras, por su alto contenido de excretas humanas, generalmente rebasan la concentración de amoníaco que un sistema natural puede remover, lo cual se agrava por la abundancia de fosfatos que agregan los detergentes y que promueven al desarrollo de algas que fijan al nitrógeno de la atmósfera y por lo tanto, la contaminación por amoníaco o iones amonio es de los componentes más difíciles de eliminar y que causan más problemas al sistema de tratamiento de aguas residuales municipales, ya que son muy demandantes de oxígeno y de cloro, por lo que conviene eliminar los materiales biodegradables nitrogenados y a los iones amonio en el proceso

<sup>28</sup> (McCarty P; (2000). Novel Biological Removal of Hazardous Chemical at Trace Levels)

fisicoquímico, cuidando de proveer el suficiente sustrato a la biomasa del sistema biológico. Cuando está presente el amoníaco, el oxígeno presente primero oxida la materia con carbono a carbonáceas y después, con una relación de concentración de cuando menos 4.5 a 1, se oxida el amonio a nitratos. Los sulfatos, los sulfitos y los iones de fierro, por ser también demandantes de oxígeno, es conveniente eliminarlos antes de que consuman el oxígeno en el sistema biológico, y sobre todo, se deben considerar al momento de realizar los cálculos de suministro de aire.

Para que los microorganismos aerobios puedan digerir los compuestos orgánicos es necesario un adecuado balance de nutrientes y sustrato a fin de mantener una buena concentración de biomasa y resistir más los cambios en el proceso. Por lo tanto, el sistema propuesto se inicia con un proceso biológico aerobio de oxígeno disuelto controlado.

No es necesario contar con grupos especiales de bacterias. No existe esfuerzo directo para controlar los tipos de bacterias y otros microorganismos que proliferan. El control indirecto se practica al diseñar la rapidez de carga de materia orgánica, y amoníaco aplicada a las unidades de tratamiento. Se han obtenido relaciones empíricas a través de muchos años de operación confiable de la planta de tratamiento.

Distintas bacterias heterótrofas facultativas realizan el proceso de oxidación del carbono.

La oxidación del amoníaco (llamada nitrificación) es llevada a cabo por un grupo de bacterias autotofas. La conversión del amoníaco a nitrito se realiza mediante la siguiente reacción química:



El paso de nitrito a nitrato es realizado



### **4.3 SEGUNDA ETAPA**

#### **TRATAMIENTO BIOLÓGICO FACULTATIVO.**

El sistema facultativo actúa con una interacción de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y facultativos, que llevan a cabo procesos de degradación de los compuestos contaminantes de una manera rápida y eficiente, pues degradaran el remanente de materia susceptible de oxidación y llevaran a cabo los procesos de auto digestión que es el consumo de material celular realizada por los mismos microorganismos, lo cual favorece al sistema debido a una menor acumulación de lodos. Para que el ambiente del reactor favorezca la diversidad de metabolismos microbianos requeridos, es necesario controlar el suministro de aire, y con este propósito, el sistema de difusión tiene la cualidad de desplazarse a diferentes alturas del sistema, permitiendo conservar una zona anóxica en el fondo del reactor.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> (Scragg Alan, Biotecnología para Ingenieros Sistemas Biológicos en procesos tecnológicos.)

#### **4.4 TERCERA ETAPA**

##### **TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE DESNITRIFICACION.**

Durante los dos primeros procesos biológicos se remueve la mayor parte de la demanda química de oxígeno (DBO) y la baja concentración de fuente de carbono favorece la auto-digestión de los lodos por lo que disminuye el volumen producido. La incorporación de un empaque en el fondo permite adicionalmente la retención de parte de los sólidos suspendidos generados en el transcurso de todo el tratamiento biológico.

La eliminación de lodo biológico del agua se realiza mediante un sistema de clarificación al que se le añade un polímero para aumentar su grado de sedimentación.

Una vez terminado el tratamiento biológico, el flujo de salida será enviado a la siguiente etapa de proceso, denominado tanque clarificador, el cual se describe en el próximo capítulo de este trabajo.

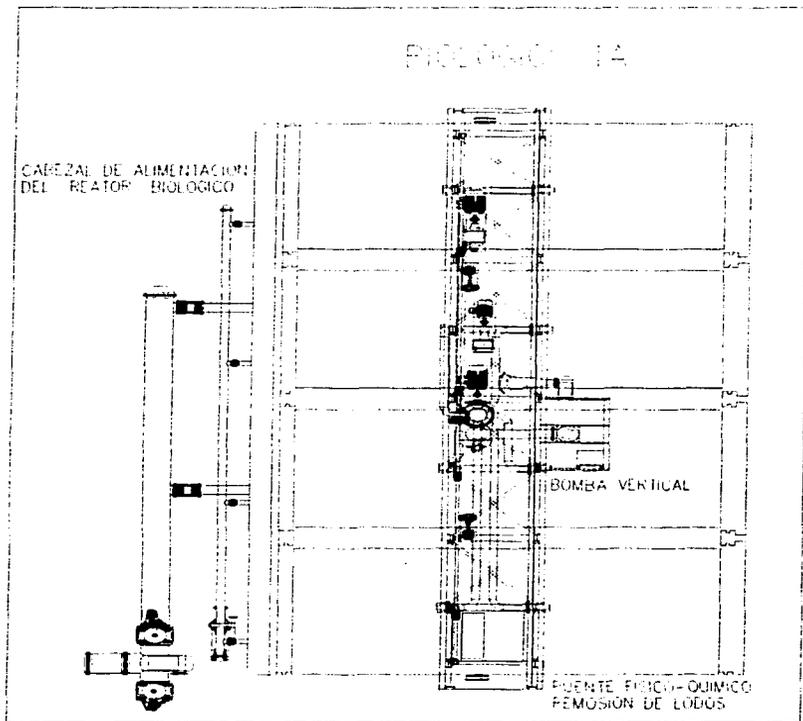
Los microorganismos aerobios consumen oxígeno para llevar a cabo la degradación de la fuente de carbono (contaminantes), el oxígeno es necesario para lograr la oxidación de estos compuestos. Un aspecto trascendente es la poca solubilidad del oxígeno en el medio, el oxígeno se vuelve el factor limitante, por lo que su transferencia del medio a los microorganismos debe ser alta. Cuando la transferencia de oxígeno no es suficiente al medio, donde se encuentran los microorganismos, se pueden tener desviaciones del metabolismo, disminuir por tanto los rendimientos de degradación de contaminantes e incluso la muerte de las células.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> (Scrugg Alan, *Biotecnología para Ingenieros Sistemas Biológicos en procesos tecnológicos.*)

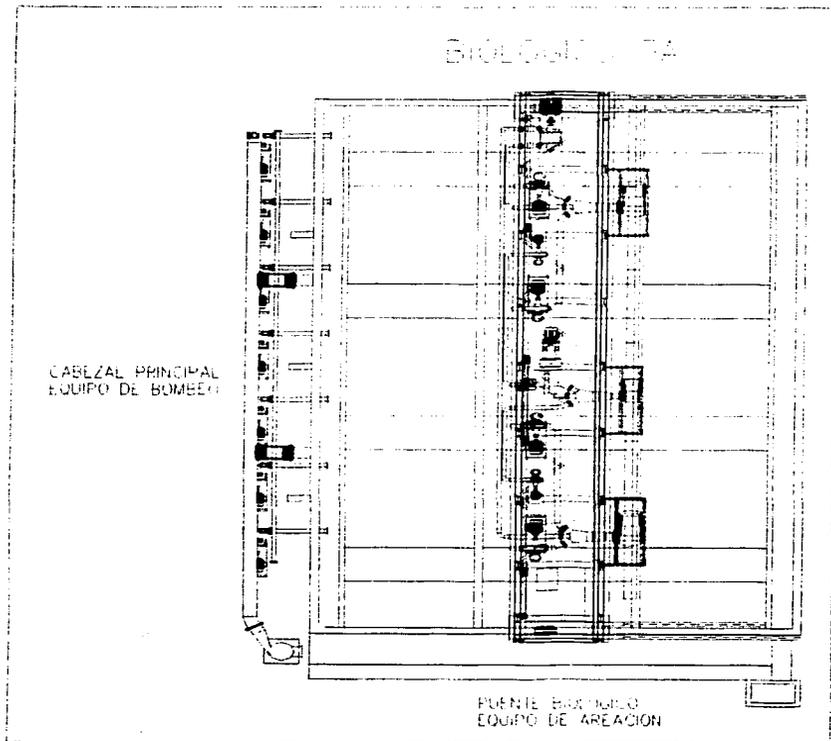
A continuación se muestran los arreglos del equipamiento del proceso biológico 1 A y 3 A, haciendo la aclaración de que el biológico 2 A y 3 A son iguales, por esta razón solamente se muestra uno de ellos.

**Figura No. 13 ARREGLO GENERAL DEL BIOLÓGICO 1A**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura No. 14 ARREGLO GENERAL DEL BIOLÓGICO 3A**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 4.5 SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA SUMINISTRO DE AIRE PARA LOS REACTORES BIOLÓGICOS

Los sistemas biológicos como tales, necesitan la alimentación de oxígeno ya sea para la oxidación de materia orgánica y para su buen funcionamiento de los lechos bacteriano aerobios, por tal motivo se requiere un equipo adecuado, que cumpla con estas características, para ello se requiere el siguiente cálculo iniciando por:

### PERDIDAS DE CARGA POR CONDUCCIÓN

Las pérdidas por rozamiento en las tuberías se calculan utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach, expresada de la siguiente forma:

$$h_L = f \frac{L}{D} h_i$$

$$f = 0.029 (D^{0.027}) / (Q_a^{0.048})$$

$$h_i = \left( \frac{V}{139.81} \right)^2 \rho_a$$

$$V = \frac{Q_a}{60 D^2 \pi / 4}$$

$$\rho_a = \frac{28.97 (P / P_o)}{(273 + T) 0.08206}$$

$$T = \frac{(T_o + 273)}{(e/100)} \left[ \left( \frac{P}{P_o} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

**Donde:**

hL	Pérdida en la tubería, (m.c.a.)
f	Factor de rozamiento en la tubería
L	longitud de la tubería, (m)
D	Diámetro de la tubería, (m)
hi	Altura cinética del aire, (m.c.a.)
V	Velocidad en la tubería, (m/seg)
Qa	Caudal de aire en la tubería, (m <sup>3</sup> /min)
ρa	Peso específico del aire, (Kg/cm <sup>3</sup> )
P	Presión de descarga del soplador, (Kg/cm <sup>2</sup> )
Po	Presión del aire ambiente, (Kg/cm <sup>2</sup> )
T	Temperatura en la tubería de descarga, (°C)
To	Temperatura del aire ambiente, (°C)
E	Eficiencia del soplador, (%)

**CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

- La presión atmosférica del aire ambiente es de 585 mmHg que equivale a 0.796 kg/cm<sup>2</sup> (11.31 Psia).
- Se considera una presión en la tubería de descarga de 1.287 kg/cm<sup>2</sup> (18.3 Psia), para una presión barométrica de 7 Psig.

- El rango de temperatura usual en la tubería de descarga va de 49 a 71 °C.
- La eficiencia de los sopladores varía entre 70 % y 80 %, tomándose para el diseño el último valor.

Datos de diseño:<sup>25</sup>

Temperatura del aire ambiente, (To)	20 °C
Presión atmosférica del aire ambiente, (Po)	0.796 kg/cm <sup>2</sup>
Presión de descarga del soplador, (P)	1.287 kg/cm <sup>2</sup>

Aplicado las ecuaciones siguientes:<sup>22</sup>

$$\rho_a = \frac{28.97 (P / P_o)}{(273 + T) 0.08206}$$

$$\rho_a = 1.709 \text{ kg/cm}^3$$

$$T = \frac{(T_o + 273)}{(e / 100)} \left[ \left( \frac{P}{P_o} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$T = 60.97 \text{ °C}$$

Ahora bien, la pérdida de carga por conducción se muestra en la siguiente tabla:

<sup>25</sup> (Perry, John Howard, Manual del Ingeniero Químico)

<sup>22</sup> (Valiente Banderas Antonio/ Jaime Noriega, "Manual del Ingeniero Químico")

**Tabla No. 4 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA POR CONDUCCION**

Diametro		Gasto		Long	f	V	H <sub>f</sub>	H <sub>L</sub>
Pulg	Mts	M <sup>3</sup> /Dia	M <sup>3</sup> /Min	(mts)		(m/seg)	(m c a)	(m c a)
5	0.127	28,800	20	30	.0236	40.79	0.1455	1.01
							Σ	1.01

**CAÍDA DE PRESIÓN TOTAL<sup>8</sup>**

Perdidas por fricción en conducción	1.01 m.c.a.
Presión hidrostática	8.00 m.c.a.
Carga de velocidad	0.38 m.c.a.

**4.5.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO**

Datos:

Gasto de aire, (Qa)	1,200 m <sup>3</sup> /hr
Presión de diseño, (P)	14.94 Psi
Eficiencia del equipo, (e)	93 %

Dado que la eficiencia es del 93 %, la potencia real requerida es:

<sup>8</sup> (Clemente Raza García, Flujo de Fluidos en válvulas y accesorios y tuberías, preparado por la División de Ingeniería del Crane)

$$\text{Pot} = \frac{63.4}{0.93} = 68.17 \text{ H.P.}$$

Potencia comercial = 75 H.P.

### EQUIPO SELECCIONADO

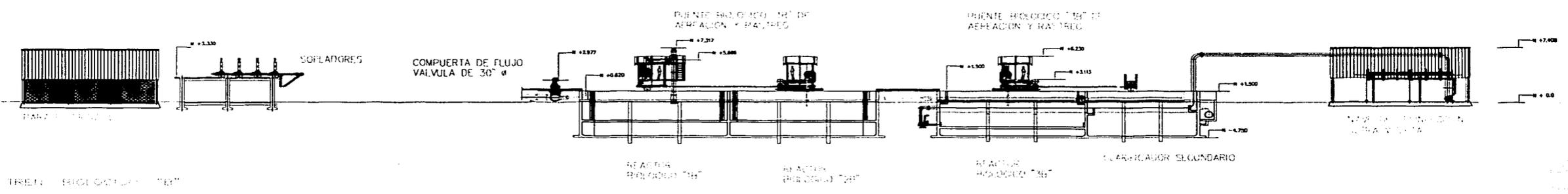
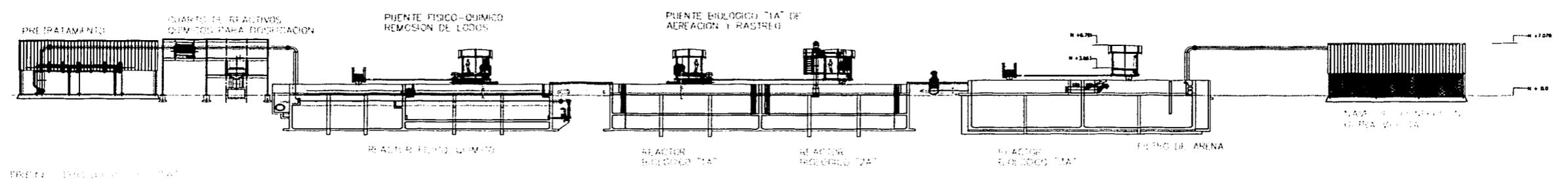
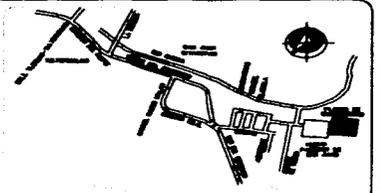
Soplador horizontal, desplazamiento positivo, para manejar aire a temperatura ambiente, gasto a manejar 1000 a 1400 m<sup>3</sup>/h, contra una carga 10.5 m.c.a., eficiencia mínima de 93.00 %, 885 r.p.m., acoplada a motor eléctrico de 75 H.P., f.s. 1.15, 4 polos, 220/440 V, 3 fases, 60 Hz.<sup>2</sup>

A continuación se muestra el arreglo general para el tren de tratamiento biológico, y con la proyección de un tren biológico alterno, para aumentar la capacidad de la planta y para incrementar la eficiencia del mantenimiento preventivo.

---

<sup>2</sup> (Alan Foust, Principles of Unit Operations, New York Unit Operations )

EN BASE A LA DESCRIPCIÓN  
ESTE ES EL ARREGLO  
CORRESPONDIENTE  
PARA EL PROCESO



ELEVACION  
EN METROS

PLANO Nº	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN
		PARA REVISAR
		PARA REVISAR Y COMPROBAR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
INGENIERIA QUIMICA

FES - ZARAGOZA

PROYECTO TESIS

ARREGLO GENERAL DEL TREN BIOLÓGICO "A" Y "B"

FECHA: OCTUBRE / 1983      CATEDRA: UNAM-I-002      NÚMERO: 8

**CAPITULO V**  
**CLARIFICACION**

## **5.1 CLARIFICACION.**

La siguiente etapa de tratamiento, tiene como objetivo principal la eliminación de la materia orgánica suspendida en el caudal de salida del sistema biológico. Esta etapa se puede considerar como de pulimiento al tratamiento biológico, la materia orgánica se debe de eliminar para que está no genere problemas en la siguiente etapa de filtración.

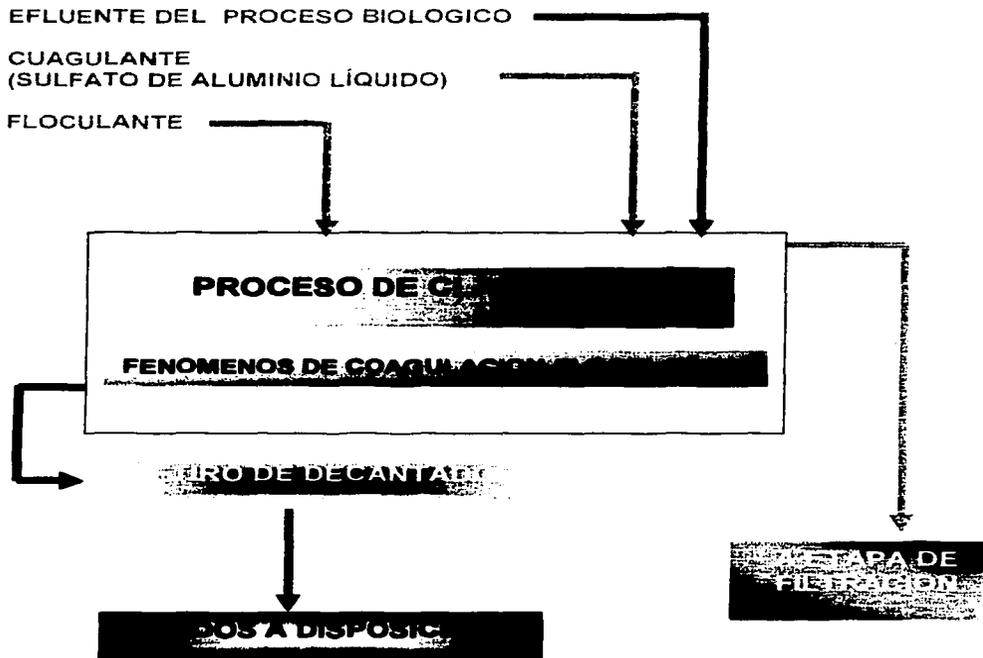
Si bien es cierto que la finalidad de los filtros de arena, es la eliminación de la materia orgánica suspendida que proviene de los sistemas biológicos, es necesario disminuir la carga de materia orgánica para no saturar rápidamente los filtros de arenas, dando como resultado ampliar los tiempos de retrolavado en cada celda de filtración.

Un sistema de clarificación se basa nuevamente en los fenómenos de coagulación-floculación, así como de sedimentación.

El proceso de clarificación consta básicamente de un sistema de agitación para la mezcla del coagulante (en este caso sulfato de aluminio líquido libre de fierro) y el polímero. Además se cuenta con friccionadores a baja velocidad para aumentar la formación del floculo, y así llevarse a cabo el fenómeno de sedimentación.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas de bloques que representan el proceso de clarificación, indicando sus diferentes etapas y elementos que lo conforman

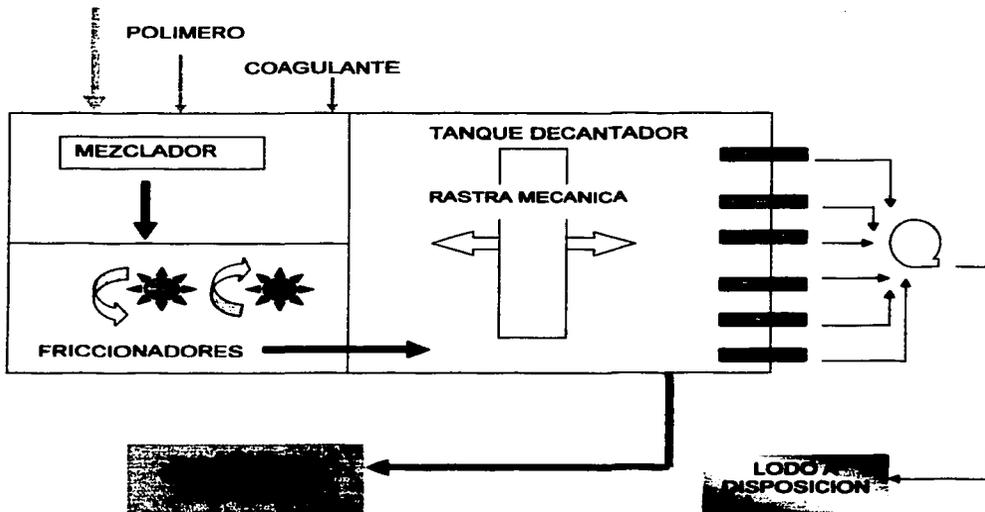
**Figura No. 15 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CLARIFICACION**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura No. 16 DIAGRAMA TANQUE DE CLARIFICACION**

**EFLUENTE DEL SISTEMA BIOLÓGICO**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Se trata de un clarifloculador adosado al módulo de tratamiento biológico, y con el cual se cubrirá la función de eliminación de materia orgánica suspendida. Para lograr esto, el tanque cuenta con un equipo para el mezclado rápido y dos agitadores-friccionadores que garantizan la incorporación del floculante y el crecimiento de los flóculos en el agua que entra, antes de que esta se vierta a la zona destinada para su clarificación. En esta etapa se eliminan los sólidos sedimentables floculados. El sistema cuenta con un equipo para la dosificación de polímero a la entrada del mezclador rápido, un tanque para el friccionamiento de los flóculos formados y un tanque de decantación rectangular con sistema de rastras para cubrir el retiro de los lodos decantados.

## **5.2 MEZCLADOR RÁPIDO.**

El mezclador rápido se encuentra adosado a los cuerpos del clarifloculador y tienen la función de realizar la mezcla rápida del floculante con el coagulante y además con el agua que proviene del tanque biológico de pulimiento aerobio. Este mezclado rápido y el posterior friccionamiento antes de buscar la sedimentación de los flóculos formados, es lo que permite una eliminación más eficiente de los materiales sedimentables en el proceso de clarificación. El mezclador rápido, deberá contar con la capacidad suficiente del gradiente de mezcla y con la posición adecuada para el mejor efecto de mezcla que sea posible.

### **5.3 FRICCIONADORES-FLOCULADORES.**

Se cuenta con dos friccionadores de velocidad variable que proporciona la energía necesaria para producir la separación de partículas muy finas mediante la adición de una solución diluida de floculante en el seno del mezclado.

Los friccionadores son dos agitadores que se desplazan a muy baja velocidad, lo que se consigue a través del uso de un dispositivo mecánico, y que por su forma promueven el crecimiento de los flóculos ya formados en el agua que entra, por friccionamiento entre ellos. El agua que se recibe en este punto del proceso proviene del mezclador rápido en el que se incorpora el floculante que facilitará la formación de los flóculos. El cuerpo del friccionador está fabricado totalmente en acero inoxidable, para evitar la corrosión de los materiales al contacto continuo del agua. El agua que sale del compartimiento en donde se encuentran colocados estos friccionadores pasa a una zona destinada para su clarificación, en donde se le eliminan los sólidos sedimentables que se flocularon previamente.<sup>20</sup>

### **5.4 TANQUE DECANTADOR.**

Finalmente, el agua clarificada con la ayuda del flujo pistón se conduce a un tanque decantador para la separación de las partículas o remanentes del sistema de coagulación - floculación.

En este tanque se retira el lodo sedimentado, y para ello se cuenta con sistemas de bombeo en la parte baja del tanque, además cuenta con líneas de extracción de lodo en acero inoxidable y con válvulas de mariposa para el control del área donde se requiere la extracción.

---

<sup>20</sup> (Snoeyink V. y Jenkins D: (1999). Química del Agua)

Como el lodo o flóculos se sedimentan a lo largo del tanque, es necesario contar con un sistema mecánico, capaz de recolectar o acercar dicho lodo a las líneas de succión, y así poder mandar el lodo a disposición o a espesamiento.

El sistema debe de contar con un equipo especializado y con sistema motriz independiente, para desplazarse de un lado a otro para la remoción de lodo sedimentable, y para ello se describe el siguiente equipo.

### **5.5 PUENTES PARA RASTRAS.**

Los puentes para rastras están fabricados con placas de acero al carbón y diferentes perfiles de acero estructural, el piso de su plataforma es placa antiderrapante y se desplazan de un lado a otro del tanque, al puente se integra un sistema de rastras que permitirá el retiro de los lodos decantados en los clarifloculadores. Las rastras están colocadas de tal manera que en la parte baja cuenta con paletas de hule de neopreno para el arrastre del lodo.

Es necesario monitorear las condiciones del tanque para evitar que se sature con una gran cantidad de lodo sedimentable, ya que si esto pasara el lodo absorbe oxígeno presente en agua, provocando que los lodos se floten, generando gran problema ya que por el flujo pistón que se presenta en la parte superior del tanque (espejo de agua y zona donde se encuentra el agua clarificada) puede ser arrastrado a la descarga que conduce a la siguiente etapa de tratamiento y con el peligro de saturar rápidamente los filtros de arena.

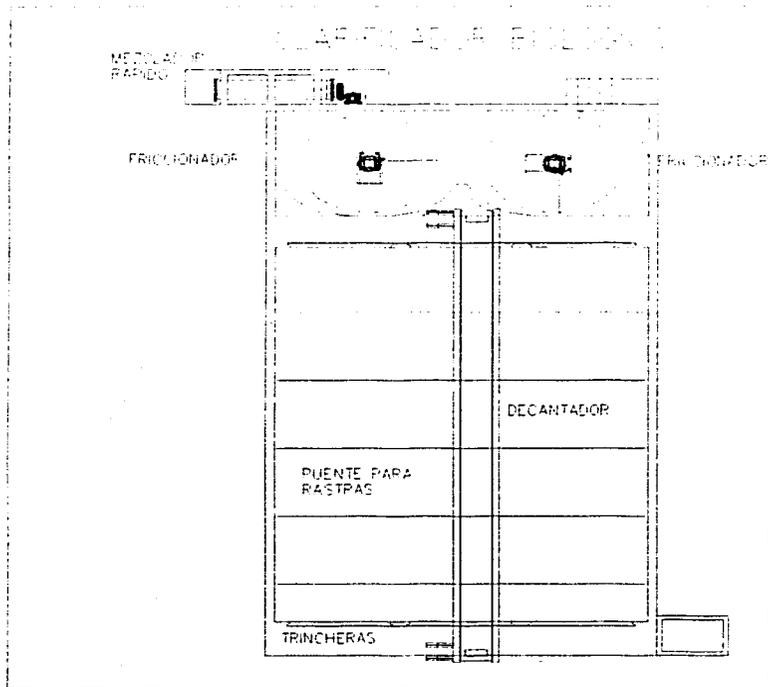
Si esto se controla efectivamente, estamos listos para mandar el efluente o descarga del clarificador a la siguiente etapa de tratamiento que es filtración y desinfección.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> (Seoanez M; (1995). *Agua Residuales Urbanos. Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento*)

En base a los equipos antes descritos, se muestran en la siguiente figura el arreglo general del clarificador biológico.

**Figura No. 17 ARREGLO GENERAL DEL CLARIFICADOR BIOLÓGICO**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO VI**  
**FILTRACION Y DESINFECCION**

## **6.1 SISTEMA DE FILTRACIÓN EN ARENA SILICA.**

El agua procedente de la etapa de clarificación, es colectada en un tanque con una tubería de 30", que por gravedad es enviada a las celdas del filtro de arena, mediante la utilización de válvulas con actuador neumático. El proceso puede contar con una ó varias celdas, construidas en concreto armado, en donde se lleva a cabo el proceso de filtración para eliminación de turbidez, olor y parte de color en un sistema multicelular continuo, que tiene como medios de soporte y filtrantes de arena sílica.

El sistema de filtración es un elemento que mantiene un flujo estable aún cuando las condiciones de calidad del agua de entrada varíen dentro de parámetros tolerables. La alimentación de agua se lleva a cabo en forma paralela mediante la acción de válvulas de mariposa con actuadores neumáticos.

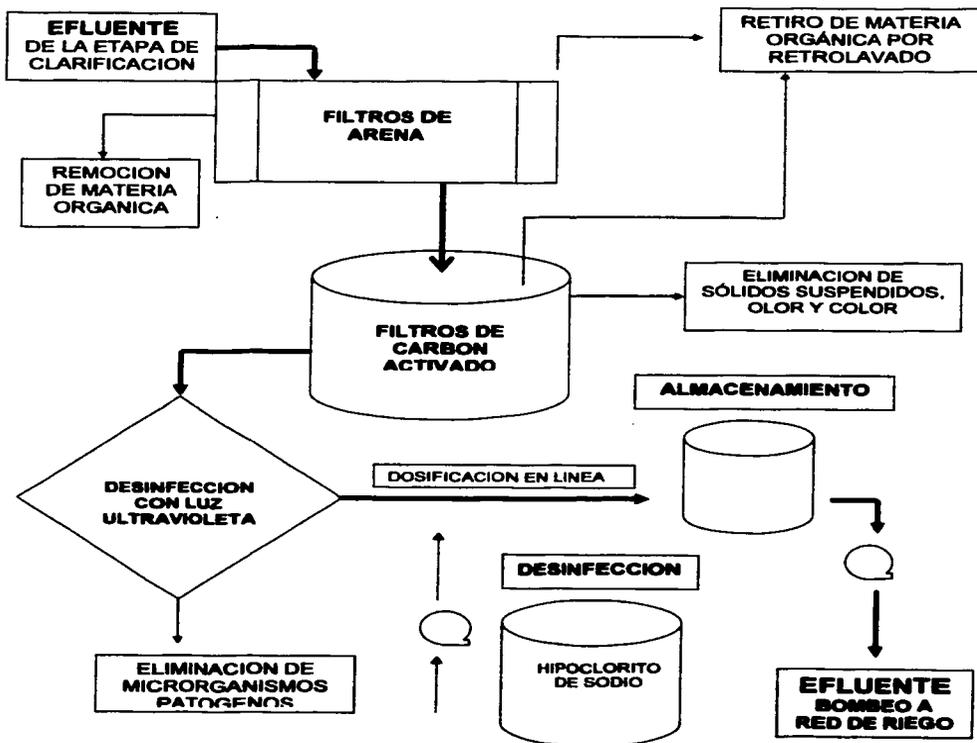
La operación de retrolavado para limpieza del medio filtrante, se realiza por una tubería central, en donde se inyectara agua limpia de abajo hacia arriba, con la misma presión del sistema, esto con la finalidad para remover las impurezas del filtro, las cuales se alojaron en un vertidor de concreto que comunica a cada una de las celdas, El cual es un acumulador de lodos los cuales son trasladados nuevamente a la etapa de clarificación, donde serán tratados nuevamente. Se puede adicionar aire para presurizar un poco mas la entrada de agua limpia en el retrolavado para poder descompactar más fácilmente la torta de lodo.

El proceso de filtración es muy eficiente para la eliminación de sólidos suspendidos y algunas trazas de color aparente. La operación de estos filtros no requiere de grandes tanques de almacenamiento de agua limpia para efectuar la operación de retrolavado, pues este se lleva a cabo con agua del mismo proceso.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> (Metcalf & Eddy (1981). Tratamiento de Depuración e las Aguas Residuales.)

Figura No. 18 DIAGRAMA DE BLOQUES DE L TRATAMIENTO TERCARIO DE  
FILTRACION Y DESINFECCION.



## **6.2 FILTRACION POR ARENA SILICA.**

Como tratamiento terciario se tiene una filtración granular, utilizando arena como lecho empacado. Con este tratamiento se eliminan las partículas mayores a los 0.3 mm. El filtro puede constar de una o varias celdas de filtración con sistema de retrolavado para eliminar los sólidos retenidos. (El número de celdas estará determinado por las necesidades del proceso y del flujo a filtrar).

Con la finalidad de remover las impurezas que no se sedimentaron en el proceso biológico se lleva a cabo una filtración granular, se utilizan dos lechos empacados de arena de distintos tamaños arena malla 4-16 y malla 20-30

La eficiencia del filtro, dependerá, de la calidad del agua que entra en el caudal entrante, de las pérdidas de cargas, tipo del filtro, carga hidráulica, método e intensidad de limpieza, altura del Lecho y la calidad prescrita del agua producida.

Para cumplir eficientemente con la calidad del agua a la salida del filtro, y tomando en cuenta los parámetros de diseño se propone un filtro con un lecho granular, el cual tiene las siguientes características:

### **ALTURA DEL LECHO**

Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$B = Q d^3 h / l$$

Donde:

B = índice de fuga

Q = Velocidad de filtración, gal/ft<sup>2</sup> min

$h$  = Carga terminal de velocidad en pies  
 $l$  = Profundidad del lecho, in  
 $d$  = tamaño de la arena, cm

Para una sola celda de filtración (serán 8 en total), tenemos que:

El índice de fuga promedio para este tipo de filtro es de  $1 \times 100.3$ , la velocidad de filtración se obtiene de datos de laboratorio, la velocidad obtenida es de 0.89 Gal. ft<sup>2</sup> min, la carga esperada es de 7 in, entonces:

a) Para la arena malla 4 - 16 ( $d = 0.15$ cm)  
 $l = (0.89) (0.15)^3 (7) / 1 \times 10^{-3}$   
 $l = 0.534$  m

b) Para la arena malla 20-30 ( $d = 0.25$  cm)  
 $l = (0.89) (0.25)^3 (7) / 1 \times 10^{-3}$   
 $l = 2.4725$  m  
 $l_{total} = 0.534 + 2.4725$   
 $l_{total} = 3.0065$  m

Por lo que la altura del lecho de cada cámara de filtración será de  $9.16 \times 18.33 \times 5.5$  metros.

#### VOLUMEN DEL FILTRO

El volumen del filtro, más el 20% del volumen útil será:

$$V = 1,512 \text{ m}^3$$

$$V_{operación/cámara} = 11 \times 5.5 \times 3 = 181 \text{ m}^3$$

#### TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención para un caudal de  $256.6175 \text{ m}^3$  y un volumen de operación de  $181.5 \text{ m}^3$  será:

$$T_R = 181.5 / 0.2566$$

$$T_R = 11.78 \text{ min/cámara}$$

## PERDIDAS EN EL FILTRO GRANULAR<sup>o</sup>

Las pérdidas de carga para el filtro granular se obtienen como sigue

Numero de Reynolds

$$N_R = (\phi d V_s) / \nu$$

Donde:

$\phi$  = factor de la forma de las partículas, para arena, 0.82

d = diámetro del grano, m

$V_s$  = Velocidad de filtración superficial, mis

$\nu$  = viscosidad cinemática ( $m^2/seg^2$ )

Para arena con d = 0.0015 m

De tablas, para T = 20°C,  $\nu = 1 \times 10^{-3}$

$$V_s = 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$N_R = (0.82)(0.0015)(3 \times 10^{-3}) / 1 \times 10^{-3}$$

$$N_R = 3.69 \times 10^{-3}$$

Para arena con d = 0.0025 m

$$N_R = (0.82)(0.0025)(3 \times 10^{-3}) / 1 \times 10^{-3}$$

$$N_R = 6.15 \times 10^{-3}$$

## CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE $C_D$

$$C_D = (24 / N_R) + (31 (N_R)^{0.5}) + 0.34$$

Para arena con d = 0.0015 m

$$C_D = (24 / 3.67) + (31(3.67)^{0.5}) + 0.34$$

$$C_D = 6.55 \times 10^3$$

Para arena con d = 0.0025 m

$$C_D = (24 / 6.13) + (31(6.13)^{0.5}) + 0.34$$

$$C_D = 4.39 \times 10^3$$

## CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CARGA H

$$h = (1.067 / \phi) (C_D) (1 / (\alpha)^{0.4}) (L/d) ((V_s)^2 / g)$$

Donde:

L = Profundidad del lecho filtrante, m

<sup>o</sup> (Degremont 1979, Manual técnico del agua Cuarta edición 1979, capítulo 4.5)

$g$  = aceleración de la gravedad,  $m/s^2$   
 $\alpha$  = porosidad, 0.4

Para arena  $d = 0.0015$  m

$$h = (1.067/0.82) (6.55 \times 10^{-3}) (1/(0.4)^{0.4}) (1.068/0.0015) (3 \times 10^{-3})^2 / 9.81$$
$$h = 1.807 \times 10^{-5} \text{ m/celda del filtro}$$

d) Para arena  $d = 0.0025$  m

$$h = (1.067/0.82) (4.39 \times 10^{-3}) (5.46) (1/(0.4)^{0.4}) (1.068/0.0025) (3 \times 10^{-3} / 9.81)$$
$$h = 2.018 \times 10^{-5} \text{ m/celda del filtro}$$

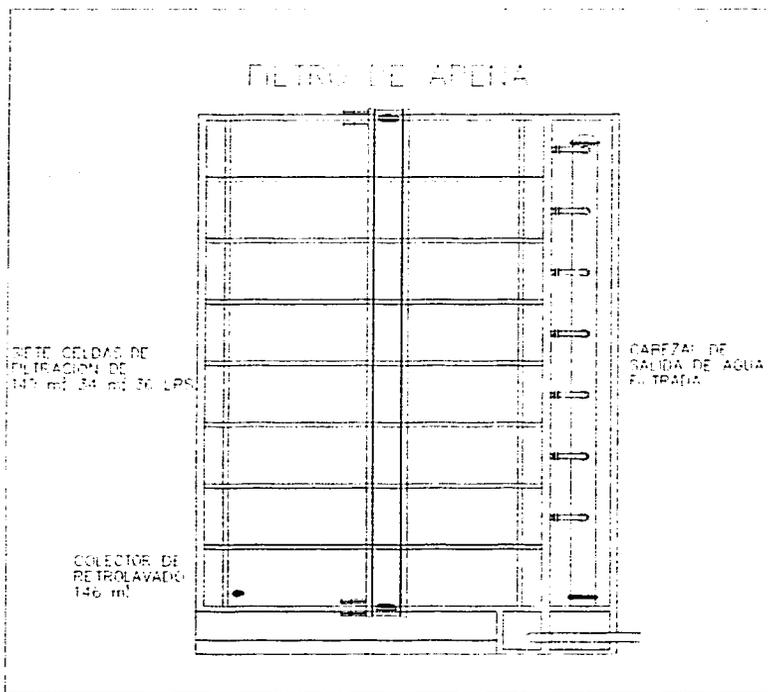
$$h_{\text{total}} / \text{celda} = 1.807 \times 10^{-5} + 0.2018 \times 10^{-5}$$
$$h_{\text{total}} / \text{celda} = 3.82 \times 10^{-5} \text{ m/celda}$$
$$h_{\text{total}} \text{ filtro} = 8 (3.82 \times 10^{-5})$$
$$h_{\text{total}} \text{ filtro} = 3.06 \times 10^{-4} \text{ m}^{17}$$

En las siguientes figuras se muestran tanto el diagrama esquemático del filtro de arena como su arreglo general vista de planta.

---

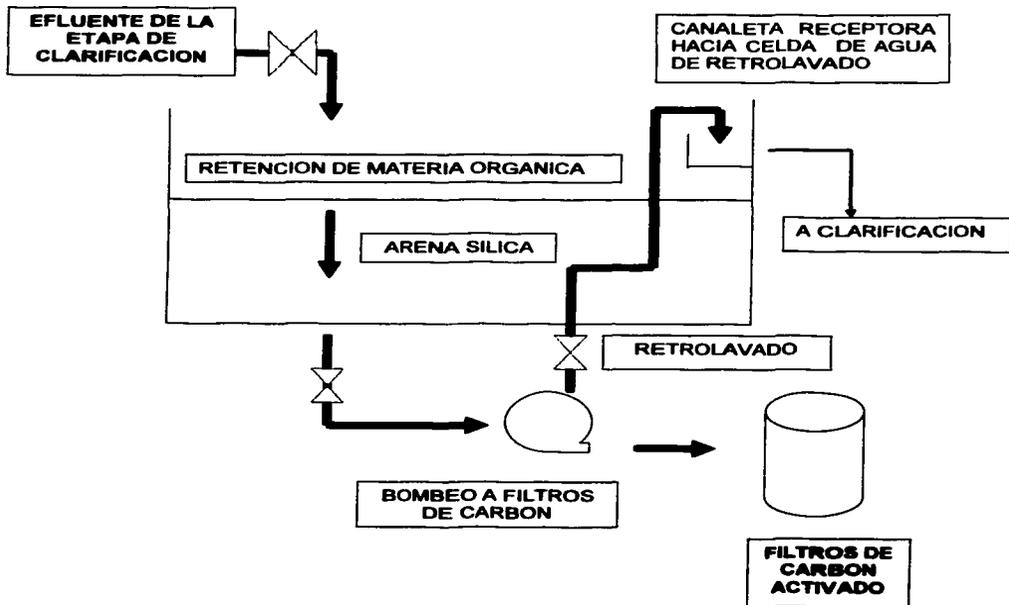
<sup>17</sup> (Landa H., Capello A. y Jiménez B.: (1997). Particle Size Distribution in an Effluent from and Advance Primary Treatment and its Removal During Filtration)

**Figura No. 19 ARREGLO GENERAL DEL FILTRO DE ARENA VISTA DE PLANTA.**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Figura No. 20 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL FILTRO DE ARENA.**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **6.3 SISTEMA DE FILTRACION CON CARBON ACTIVADO.**

El proceso de adsorción con carbón activado, estará ubicado después de la operación de la filtración con arena sílica, y su utilización básicamente es para mejorar las propiedades organolépticas del agua como son el color, olor y sabor. El sistema de tratamiento puede contar con uno o tres unidades de filtración, empacadas con CAG (carbón activado granular) de 8x30 mallas, las cuales se retrolavan en forma secuencial ó programada, de tal forma que la operación del sistema es totalmente automática y constante, sin que se requiera de grandes tanques de almacenamiento de agua limpia para efectuar la operación de retrolavado.<sup>21</sup>

### **6.4 ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO GRANULAR (CAG)**

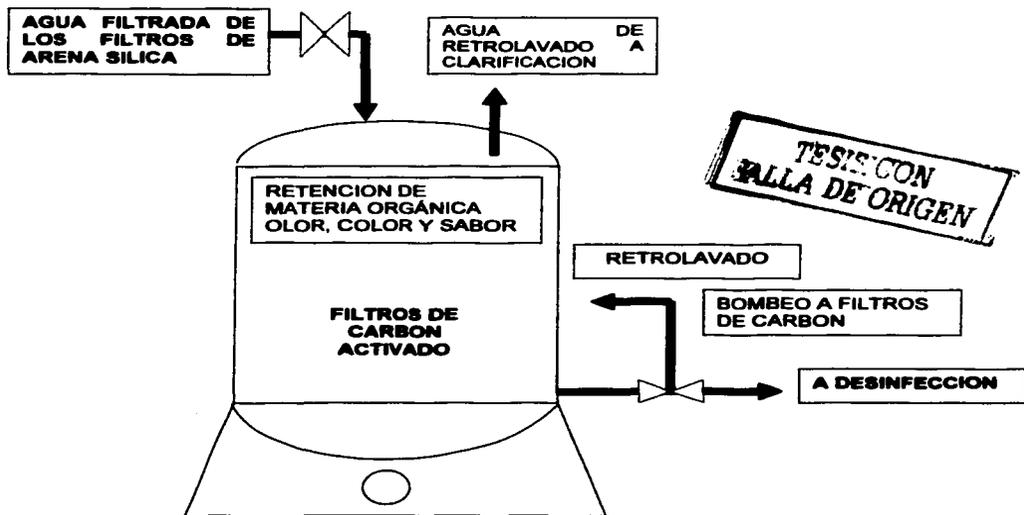
Los contaminantes solubles, presentes en el agua pueden ser removidos cuando se ponen en contacto con una superficie sólida. En este caso, se utiliza carbón activado, para la eliminación de dichos compuestos.

Las columnas utilizadas para la depuración del efluente, contienen el carbón empacado, cada columna (conectadas en paralelo al caudal que Reciben) en cada una de las columnas se lleva a cabo la adsorción de los compuestos solubles, estas celdas actúan a manera de filtros, por lo que son retrolavadas periódicamente. Como se muestra en la siguiente figura:

---

<sup>21</sup> (Metcalf & Eddy /1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización)

**Figura No. 21 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FILTRO DE CARBON ACTIVADO.**



El tratamiento del agua residual con carbón activado se considera como un proceso de refinación de aguas que ya han recibido un tratamiento previo secundario y una filtración por arena. La función principal de este proceso es la eliminación de color, olor y de residuos de materia orgánica. La operación del sistema es totalmente

automática y no se requiere de grandes tanques de almacenamiento de agua limpia, para efectuar la operación de retrolavado, pues esto se lleva a cabo con la misma agua producto del proceso, para lo cual se acumula agua limpia en una tubería central y esta pasa de abajo hacia arriba, con la propia presión del sistema para remover las impurezas del filtro. El agua de retrolavado se reincorpora al proceso.

### ALTURA DEL FILTRO

Las consideraciones de diseño para una columna de lecho empacado, se requiere conocer la altura de la zona de adsorción.

Por medio de graficas, obtenidas en el laboratorio donde se miden los porcentajes de remoción de sólidos solubles cuando pasan a través del lecho empacado en un determinado tiempo  $t$ , entonces encontramos la altura del lecho empacado  $AZ$ , la cual dependerá del porcentaje de adsorción que se desea tener al final.

Con los datos obtenidos en el laboratorio, podemos tener la altura de lecho para cada celda, la cual corresponde a 1.6 m.

La altura total del lecho se puede calcular multiplicando  $AZ$  por el número de celdas.

$$AZ = 4(1.6) = 6.4 \text{ m por columna}$$

Por las características de la columna, se plantea un 15% de  $AZ$  para la altura de cada celda y más las divisiones, tenemos que longitud de cada celda es de 2 m.

La longitud de la columna es de 8 m, con un radio de 0.92 m.

## VOLUMEN DEL FILTRO

El volumen de operación de la columna sería:

$$V = 6.4 * \pi (0.92)^2$$

$$V = 17.01 \text{ m}^3$$

## TIEMPO DE RESIDENCIA<sup>9</sup>

Por lo que el tiempo de residencia será:

$$t_R = 17.01 / (0.24911/3)$$

$t_R = 3.41$  min, para cada columna de filtración con carbón activado.

$$As = Qw/CHS$$

$$A [As/2]^{1/2}$$

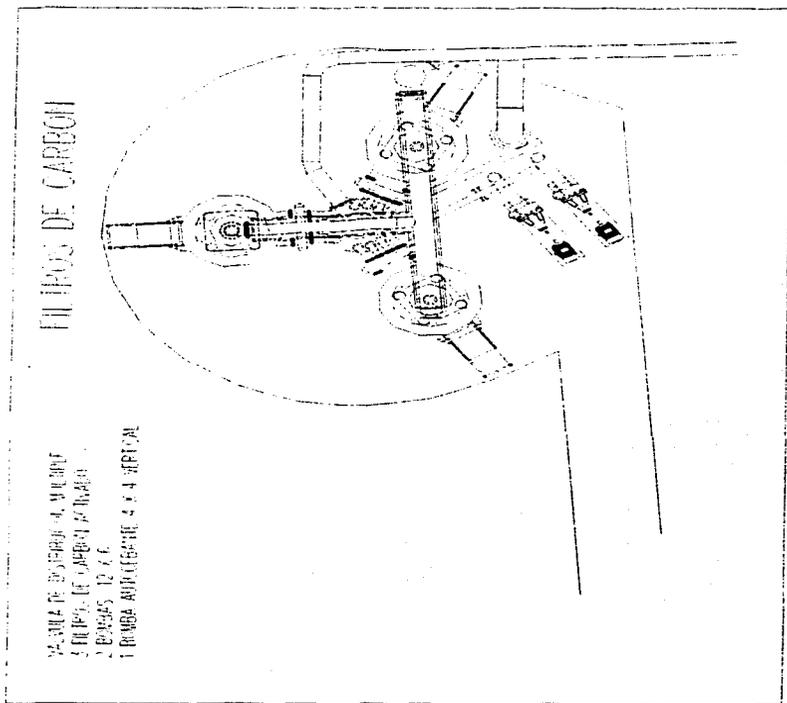
$$L = 2 \times A$$

Tomando como base lo anterior, se describe a continuación el arreglo general del filtro de carbón activado con una vista en planta.

---

<sup>9</sup> (Degremont 1979, Manual técnico del agua Cuarta edición 1979, capítulo 4.5)

**Figura No. 22 ARREGLO GENERAL DEL FILTRO DE CARBON ACTIVADO  
VISTA DE PLANTA**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **6.5 DESINFECCIÓN POR LUZ ULTRAVIOLETA (U.V.) Y/O POR CLORACIÓN**

El agua efluente de la etapa de filtración con carbón activado, es enviada por gravedad a la etapa final del proceso, la cual consiste en la eliminación de microorganismos como son los coliformes, mediante la utilización de rayos ultravioleta. Para llevar a cabo esta operación el sistema cuenta con módulos provistos de lámparas de cuarzo, que a través de las cuales pasan los rayos UV que actúan como desinfectante proporcionando de esta manera una calidad de agua con características de agua tratada.

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son: la tifoidea, el cólera y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen a la poliomielitis y la hepatitis infecciosa.

Es importante señalar que debido a la clarificación y a la filtración que se tiene a lo largo del tratamiento, se eliminan por completo los huevos de helminto. La desinfección con radiación ultravioleta se considera como el sistema de desinfección más seguro debido a que no se emplea ningún agente químico, con los inconvenientes de su manejo.

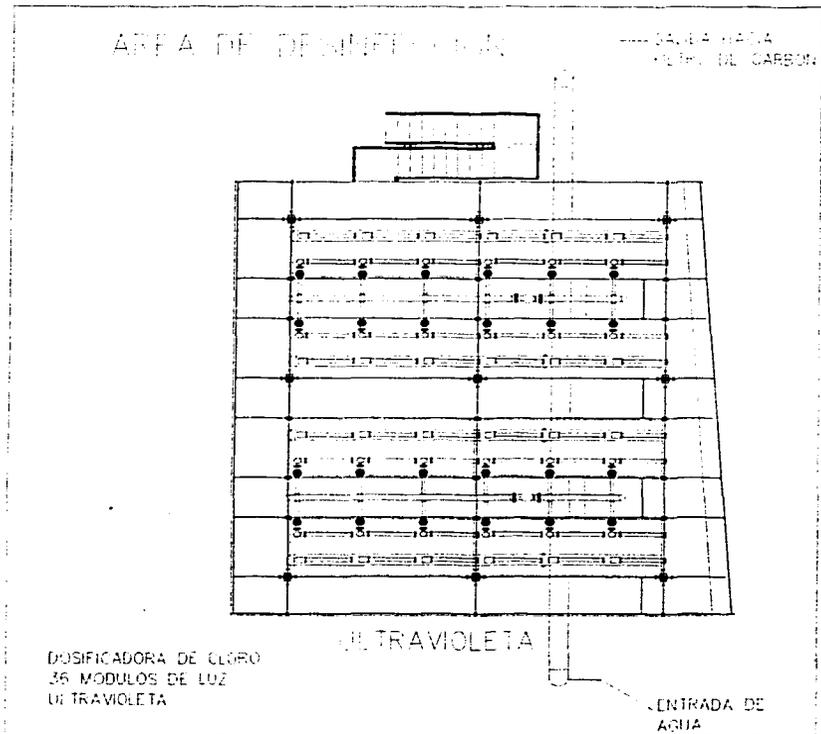
La cloración es el método de desinfección más utilizado universalmente debido a su toxicidad contra los microorganismos, es fácilmente asequible, de costo razonable, es efectivo en el intervalo de temperatura ambiente y a que su acción germicida no disminuye drásticamente.<sup>23</sup>

La siguiente figura muestra el arreglo general para los módulos de desinfección

---

<sup>23</sup> (Tebbutt et al. 1993. Fundamentos de control de calidad del agua)

**Figura No. 23 ARREGLO GENERAL DE LOS MODULOS DE DESINFECCIÓN**

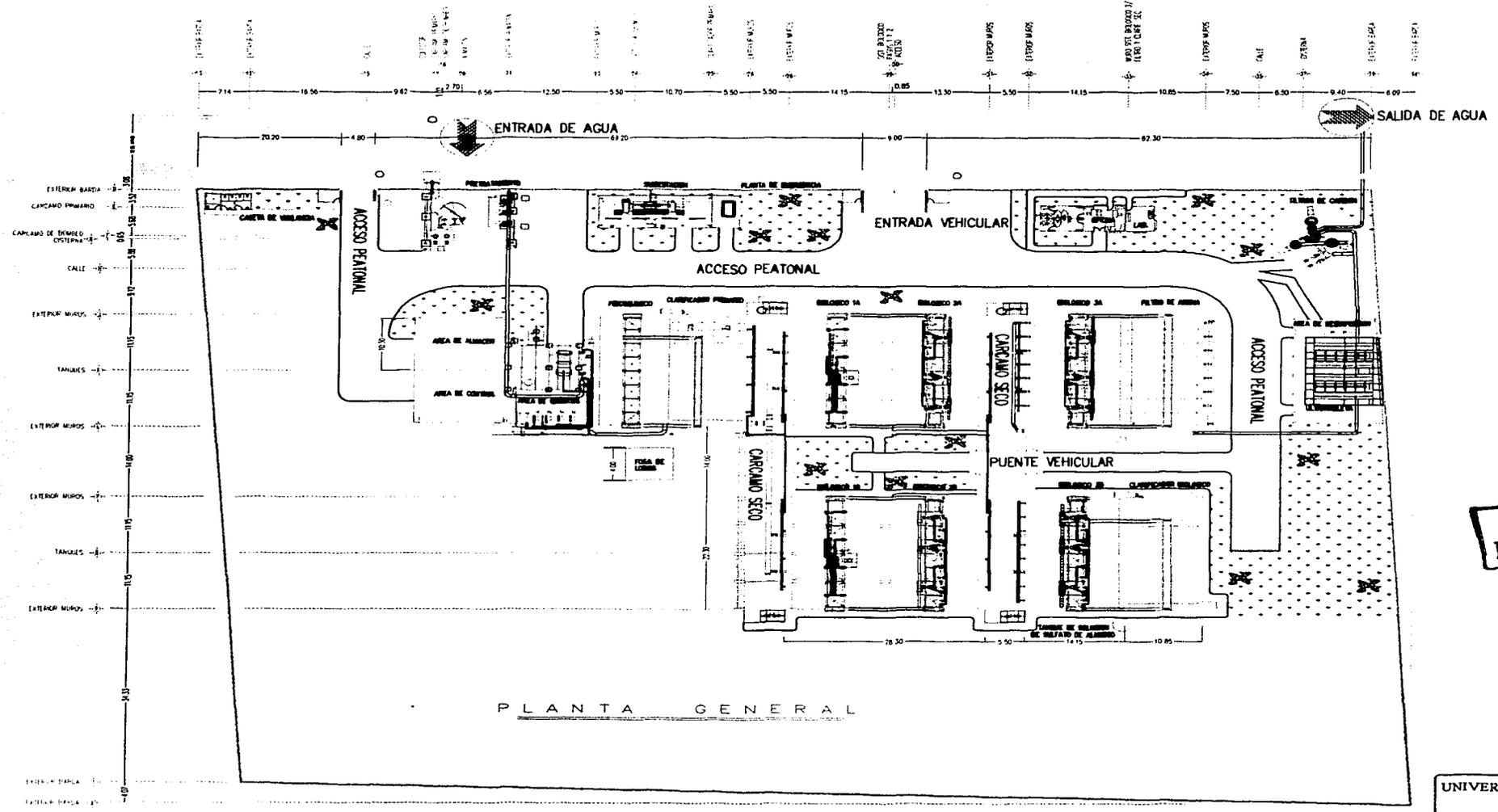
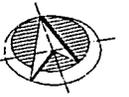


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **6.6 EFLUENTE FINAL (AGUA TRATADA).**

Finalmente, el agua tratada (producto) se conduce, hacia una cisterna de producto terminado, donde se le puede inyectar una pequeña dosis de Hipoclorito de sodio al 13 %. El agua producto llega por gravedad a la cisterna que sirve como base a los filtros de carbón y es justo en está, donde se almacena para posteriormente ser bombeada a la infraestructura de riego agrícola ó para la distribución de inyección al acuífero.

Como punto final de esta propuesta de tratamiento, y tomando en cuenta todas las áreas de proceso, se presenta el arreglo general de planta, ubicando cada una de las áreas de tratamiento, de acuerdo a la distribución de área y equipo.



PLANTA GENERAL

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

NO.	DESCRIPCION	NO.	DESCRIPCION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
INGENIERIA QUIMICA	
FES - ZARAGOZA	
PROYECTO TESIS	
ARREOLO GENERAL	
ALUMNO	UNAM-1-1403
FECHA	

## CONCLUSIONES

- ❖ Tomando como base los parámetros del influente (aguas negras) se propuso un tren de tratamiento de agua residuales, que cumple con los límites máximos permisibles, que estable la normatividad actual para el reúso en riego agrícola.
- ❖ Se determino el tipo y cantidad de cada uno de los reactivos químicos, que intervienen durante las diferentes etapas del proceso de tratamiento. Siendo estos los mas eficientes y económicos, para la remoción de los contaminantes en el influente a tratar
- ❖ Este trabajo es una buena herramienta, que puede servir como apoyo, para el diseño, construcción, arranque y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales con nivel terciario.
- ❖ La calidad del agua residual producto del proceso del tren de tratamiento, cumple con la normatividad vigente, y al ser destinada para el riego agrícola, en el ejido de San Juan Ixtayopan, será de gran beneficio a la comunidad ejidal, mejorando la economía de la región y para preservar las condiciones ambientales.

## **BIBLIOGRAFIA**

## REFERENCIAS

1. Aldana, J; (1996). Evaluación de la Cal como coagulante y Estudio de Mezclado para tratar Agua Residuales del Valle de México. Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
2. Alan Foust, Principles of Unit Operations, New York Unit Operations 1908.
3. American Waster Work Association (AWWA) (1990). Water Quality and treatment. A Handbook of Community Water Supples. Fourth Edition, McGrall-Hill, ISBN: 0-07-001540-6, New York, 1194p.
4. Bahri, A; (1999). Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water Management. Wat. Sci. Tech. 45(4-5), pp. 339-346.
5. Calderón, C; (1998). Influencia del Régimen de Mezclado y del Momento de Adición del Polímero en el Tratamiento Primario Avanzado. Facultad de Ingeniería, DEFI-UNAM, México, 73p.
6. Comisión Nacional del Agua (CNA) (2000). Normas Oficiales Mexicanas. Subdirección General de Administración del Agua, México.
7. Cuaderno Estadístico Delegación Tlahuac, INEGI, Ed. 1998.
8. Clemente Reza García, Flujo de Fluidos en válvulas y accesorios y tuberías, preparado por la División de Ingeniería del Crane. México Ed. Mcgraw-hill
9. Degremont 1979, Manual técnico del agua Cuarta edición 1979. capítulo 4,5,7,8 y 9 pp 111-312.

- 10.** Fair, G; Gayer, J. y Okun, D; (1999). Purificación de Aguas y tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Editorial Limusa, Vol.2, ISBN: 968-18-0167-9, México, 764p.
- 11.** Hall, E. and A.R.C.S. (1996). The Coagulation Process, Part 3. Water Research Association. Technical paper, No.33,pp.59-64.
- 12.** Heinzmann, B; (1994). Coagulation and Flocculation of Stormwater from a Separate Sewer System a New Possibility for Enhanced Treatment. Wat. Sci. Tech. 29(12), pp. 267-278.
- 13.** Hernández A; (1998). Depuración de Aguas Residuales. 4a Edición, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, ISBN: 84-380-0138-6, España, pp. 1006.
- 14.** Hurtado C; (1996). Elección de un Coagulante y un Floculante para el Tratamiento del Agua del Valle de México por un TPA. Facultad de Química, UNAM, México, 99p.
- 15.** Jiménez B. y Chávez A; (2000). El Reuso de Aguas Residuales en Riego Agrícola. The Water Mirror, The Magazine on Water Treatment From Kemwater (2), December, pp. 6-8.
- 16.** Jiménez B. y Ramos J; (1997). Revisión de los criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Riego Agrícola. Laborado para la Comisión Nacional del Agua. Informe Final-Diciembre, México, 1996p.
- 17.** Landa H., Capella A. y Jiménez B; (1997). Particle Size Distribution in an Effluent from and Advance Primary Treatment and its Removal During Filtration. Wat. Sci. Tech., 36(4).pp. 159-165.

- 18.** Ley Federal de derechos en material de agua. México 185-200
- 19.** Levine A; Tchobanoglous G., and Asano T; (1985). Characterization of the size distribution of Contaminants in Wastewater: Treatment and Reuse Implication, Journal WPCF, 57(7), pp. 911-922.
- 20.** McCarty P; (2000). Novel Biological Removal of Hazardous Chemical at Trace Levels. Wat. Sci. Tech, 42(12), pp. 49-60.
- 21.** Metcalf & Eddy /1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización, Vol. I, Ed. McGraw-Hill, ISBN: 84-335-6416-1, España, 835p.
- 22.** Metcalf & Eddy (1981). Tratamiento de Depuración a las Aguas Residuales. 2ad Edición, Editorial McGraw-Hill, ISBN: 84-335-6416, España, 837p.
- 23.** Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales. "Diario Oficial de la Federación". Enero 6 de 1997. 67-87.
- 24.** Odegaard, H; (1985). Engineering Aspects of Flocculation Chemical Water and Wastewater Treatment, Vol.62, pp. 81-102, New York.
- 25.** Perry, Jhon Howard, Manual del Ingeniero Químico. Traducción al Español, bajo la dirección de Jhon Perry. 3 ra. Edición. México Uteha.
- 26.** Programa hidráulico 1995-2000 Poder Ejecutivo Federal, Segunda parte 59-73I
- 27.** Sans R. y Ribas J; (1999). Ingeniería Ambiental. Contaminación y Tratamientos, Editorial Alfaomega, ISBN: 84-267-0742-4, México, 145p.

- 28.** Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1985) Evaluación del Control de la Contaminación por el reuso Agrícola del Agua Residual. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, México, pp 45.
- 29.** Seoanez M; (1995). Aguas Residuales Urbanas. Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento, Ediciones Mundi-Prensa, ISBN: 84-7114-545-6, España, 368p.
- 30.** Snoeyink V. y Jenkins D; (1999). Química del Agua. Editorial Limusa, ISBN: 968-18-1608-0, México, 508p.
- 31.** Scragg Alan, Biotecnología para Ingenieros Sistemas biológicos en procesos tecnológicos. Ed. Limusa Cuarta edición. Pp. 363-377 (tratamiento biológico de efluentes).
- 32.** Valiente Banderas Antonio/ Jaime Noriega. Manual del ingeniero químico, México Limusa 1993. Manuales de Ingeniería.
- 33.** Tebbutt et al. Fundamentos de Control de Calidad del Agua. Editorial Limusa Noriega Editores, México. 156-190.