

# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

DIRECCIÓN DE POSGRADO

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA U. Z.

**PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO  
DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA  
VALLE DE MÉXICO**

## **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA

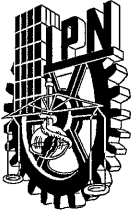
**OSCAR GARCÍA ORTEGA**

DIRECTORES:

**M.C. JESÚS HUMBERTO ROMO TOLEDANO**

**M.I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ**





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 16:00 horas del día 12 del mes de agosto del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis titulada:

"PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS  
GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO."

Presentada por el alumno:

García  
Apellido paterno

Ortega  
Apellido materno

Oscar  
Nombre(s)

Con registro: 

B	0	1	1	3	1	6
---	---	---	---	---	---	---


aspirante de:


MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

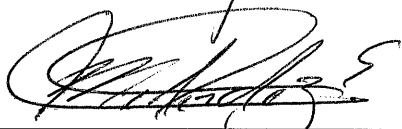
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

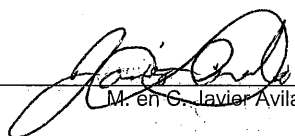
Directores de tesis

  
M. en I. Felipe López Sánchez

  
M. en C. Jesús Humberto Romo Toledano

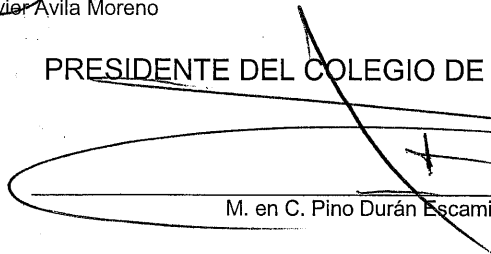
  
Dr. Jorge Meléndez Estrada

  
M. en C. Ricardo Contreras Contreras

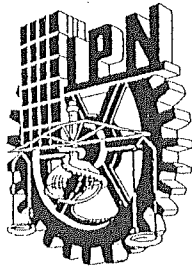
  
M. en C. Javier Avila Moreno



PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES MEXICO

  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
M. en C. Pino Durán Escamilla

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
UNIDAD ZACATENCO  
14 SEP 2011  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPARTAMENTO DE POSGRADO

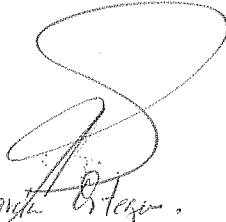


*INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL*  
*SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO*

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México, D. F., el día 28 del mes de Octubre del año 2011, el (la) que suscribe Oscar García Ortega, alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental con número de registro B011316, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. C. Jesús Humberto Romo Tolédano y M. I. Felipe López Sánchez, cede los derechos del trabajo intitulado “PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [oscar.garcia03@cfe.gob.mx](mailto:oscar.garcia03@cfe.gob.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
\_\_\_\_\_  
Oscar García Ortega



PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO

---



# **PROPUESTA DE INGENIERÍA BÁSICA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO**



## CONTENIDO

<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	
<b>I.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>7</b>
<b>I.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>I.3 OBJETIVOS Y ALCANCE.....</b>	<b>9</b>
<b>II PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL</b>	
<b>II.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
<b>II.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....</b>	<b>11</b>
<b>II.3 TRATAMIENTO PRELIMINAR.....</b>	<b>16</b>
<b>II.4 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.....</b>	<b>16</b>
<b>II.5 PROCESO BIOLÓGICO.....</b>	<b>19</b>
<b>II.6 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....</b>	<b>23</b>
<b>II.7 DESINFECCIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>III INGENIERÍA BÁSICA DEL TRATAMIENTO DE LODOS</b>	
<b>III.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS GENERADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....</b>	<b>26</b>
<b>III.3 SELECCIÓN DEL SITIO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>27</b>
<b>III.4 ANÁLISIS DE MODIFICACIONES AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR CADA ALTERNATIVA .....</b>	<b>27</b>
<b>III.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>29</b>
<b>III.6 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>31</b>



## **IV FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL TRATAMIENTO DE LODOS**

<b>IV.1 TRATAMIENTO DE LODOS.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.2 DIGESTIÓN DE LODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.2.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.2.2 DIGESTIÓN AEROBIA.....</b>	<b>42</b>
<b>IV.3 ESPESAMIENTO DE LODOS.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.4 SECADO DE LODOS .....</b>	<b>44</b>
<b>IV.5 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS LODOS.....</b>	<b>45</b>

<b>V CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
----------------------------	-----------

<b>VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>47</b>
---	-----------

<b>VII ANEXOS.....</b>	<b>51</b>
------------------------	-----------

### **ANEXO I**

<b>DIAGRAMA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO.....</b>	<b>52</b>
---	-----------

### **ANEXO II**

<b>DIAGRAMA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA VALLE DE MÉXICO CON REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE EN LA QUE SE INSTALARÍA EL MÓDULO DE TRATAMIENTO DE LODOS.....</b>	<b>53</b>
---	-----------

### **ANEXO III**

<b>NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002 ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.....</b>	<b>54</b>
--	-----------



## METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología seguida para el desarrollo de este trabajo corresponde a la siguiente descripción:

Al entrar en vigencia la NOM-004-SEMARNAT-2002 (anexo 3), se vio la necesidad de elaborar una propuesta para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica Valle de México, perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad, lugar en que el autor se desempeña como jefe del departamento químico, el cual se encarga entre otras funciones de la operatividad de la planta tratadora de aguas residuales.

Ante este panorama, se realizó estudio para elaborar una propuesta que permita hacer el tratamiento a los lodos primarios y lodos activados excedentes que se generan en la planta referida.

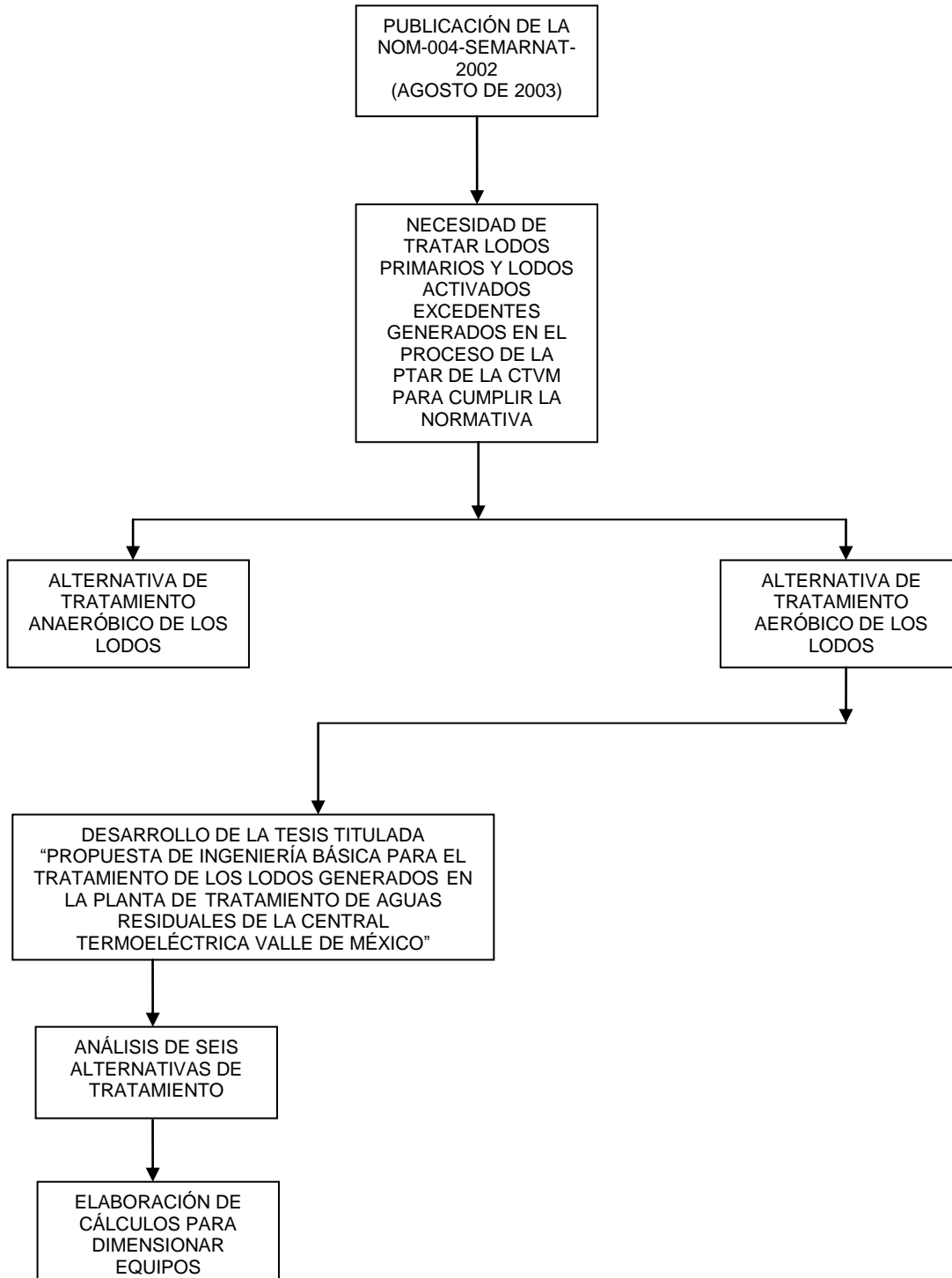
Derivado de la investigación previa se encontró que el tratamiento puede ser bajo dos alternativas: tratamiento aeróbico y tratamiento anaeróbico, ante lo cual se realizó un análisis de las ventajas y desventajas que ofrece cada uno, concluyendo que el tratamiento aeróbico es el mas viable técnica y económicamente, aunque no se presenta en este trabajo un estudio económico, se obtuvo información bibliográfica para determinar que el tratamiento anaeróbico implica mayor inversión, ya que se requiere contar con infraestructura costosa como reactores y recuperadores de biogas que requiere esta alternativa.

Una vez definido el tipo de tratamiento a desarrollar, se hizo una análisis de dos alternativas con variantes entre ellas, la elegida incluye el tratamiento que considera un espesamiento del lodo seguido de una digestión aeróbica y una deshidratación de los sólidos al final, para lo cual se incluyó un análisis del comportamiento de la planta de tratamiento empleando el programa Computer Assisted Program for the Design of Wastewater Treatment Facilities (CAPDET).

Posteriormente se elaboraron los cálculos para dimensionar los equipos de proceso que constituyen esta alternativa.

El desarrollo de la propuesta que incluye esta tesis se representa esquemáticamente en el diagrama siguiente:





**Figura 1 Metodología de trabajo para el desarrollo de la propuesta**



## RESUMEN

Actualmente la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, establece la obligatoriedad de realizar un acondicionamiento a los lodos y biosólidos generados en los procesos para tratamiento de aguas residuales previo a su disposición final para cumplir con los lineamientos establecidos por esta misma norma.

Debido a que desde su diseño original, la planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la central termoeléctrica Valle de México, carece de un sistema para tratar los lodos generados, ya que cuando fue construida no se consideraba este requisito ambiental en la normatividad vigente en aquella época, adicionalmente, al no existir un proyecto que proporcione las bases técnicas para la construcción de esta infraestructura en la planta de aguas residuales, se consideró como propuesta básica la incluida en esta tesis, estableciendo las especificaciones técnicas básicas para la construcción de los equipos para el tratamiento de los desechos.

Se consideró la opción de un tratamiento por digestión aerobia debido a que éste cumple con los requisitos técnicos y legales contenidos en la norma para los efluentes, es de operación mas sencilla y sobre todo es de una considerable diferencia económica en relación a un proceso para el tratamiento de los lodos mediante el método de la digestión anaerobia.

Después del análisis realizado, se concluye que el proceso más favorable para el tratamiento de los lodos es el compuesto por espesamiento, digestión y deshidratación.

Con fundamento en las características de los efluentes y de los requisitos de la norma, se plantea esta propuesta, la cual nos arroja como resultado los equipos necesarios para llevar a cabo el acondicionamiento así como el dimensionamiento de los mismos para llevar a cabo el tratamiento, logrando al final el cumplimiento a la normatividad y generando un desecho estabilizado sin características agresivas para el medio ambiente, de manera tal que pueda ser depositado en un relleno sanitario municipal.

Cabe señalar que en el actual predio de la planta de tratamiento se tiene espacio suficiente para instalar el equipo adicional y no se interrumpiría la producción de agua tratada que demanda la generación de energía eléctrica en la central.



## ABSTRACT

Currently, the Mexican Official Standard NOM-004-SEMARNAT-2002 establishes the obligation to perform conditioning at the sludge and biosolids generated in the wastewater treatment prior to disposal to meet the guidelines established by that standard.

Because since its original design, the plant wastewater treatment power plant belonging to the power station Valle de México, lacks a system for treating sludge, as when it was built it did not consider the environmental requirement in the current regulations in that time, in addition, the absence of a project that will provide the technical basis for the construction of this infrastructure in the sewage plant, was considered as a basic proposal that included in this thesis, establishing the basic technical specifications for construction equipment for the treatment of waste.

Was considered a treatment option for aerobic digestion because it meets the technical and legal requirements contained in the effluent standard, operation is easier and above all is a considerable price difference compared to a process for sludge treatment by anaerobic digestion method.

After analysis, we conclude that the most favorable process for the treatment of sludge is composed of thickening, digestion and dewatering.

Based on the effluent characteristics and requirements of the standard is raised by this proposal, which casts us as a result the necessary equipment to carry out the fitting and sizing them to carry out treatment, making the final compliance with the regulations and generating a stabilized waste without aggressive characteristics to the environment, so that it can be deposited in a municipal landfill.

It should be noted that the current site of the treatment plant has enough space to install additional equipment and not disrupt the production of treated water demand the generation of electricity at the power station.



## I. INTRODUCCIÓN

### I.1 ANTECEDENTES

La Central Termoeléctrica Valle de México perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad, tiene actualmente una capacidad instalada de 1000 MWH con siete unidades generadoras. Las unidades 1, 2, 3 y 4 emplean agua residual tratada en su sistema principal de enfriamiento, el cual consiste en enfriar el vapor que ha sido expandido en la turbina para condensarlo y retornar el condensado al ciclo agua-vapor del generador de vapor, para lo cual se utiliza agua residual tratada como medio de enfriamiento; esta agua circula a través de los tubos del condensador principal, el calor que absorbe es liberado en la torre de enfriamiento, donde se alimenta constantemente agua residual tratada como repuesto para compensar las pérdidas por evaporación, purgas y arrastre. El agua de repuesto a la torre de enfriamiento es producida en la planta de tratamiento de aguas residuales con que cuenta la Central y es enviada por bombeo y en tuberías subterráneas directamente a las piletas de las torres de enfriamiento.

<sup>23</sup> La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada hacia el suroeste de la Central, a una distancia aproximada de 7 kilómetros, tiene una capacidad total de producción de 750 LPS y utiliza el proceso biológico de lodos activados, está constituida por tres paquetes denominados como unidad 1, unidad 2/3 y unidad 4, produciendo 150, 300 y 300 LPS respectivamente, esta producción es enviada hacia las unidades respectivas en la Central Termoeléctrica.

Desde la entrada en operación comercial de la Central, simultáneamente fue puesto en servicio el primer paquete perteneciente a la unidad 1 en el año de 1963, continuando el paquete de la unidad 2/3 en el año de 1972 y, finalmente, el paquete de la unidad 4 en 1974, desde entonces opera sin un sistema de tratamiento de los desechos generados en el tratamiento del agua, devolviéndolos directamente hacia la fuente de captación del agua cruda.

Derivado de los cambios en la legislación ambiental actual, es necesario que esta planta cuente con un sistema de tratamiento de los lodos generados en el proceso y considerando que en éste se generan cantidades importantes de lodos, éstos deben ser tratados de acuerdo a la normativa aplicable antes de su disposición final.

Por esta razón, el presente trabajo tiene la finalidad de elaborar la propuesta básica para que estos desechos sean tratados y poder dar cumplimiento a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, asentando las bases para la construcción de la infraestructura del tratamiento, o bien para la elaboración de las especificaciones técnicas en caso de que este servicio sea prestado por un tercero.



La presente propuesta se fundamenta, principalmente, en el cumplimiento a la normatividad actual, en lo que respecta a la prevención de la contaminación del agua, conservación de las aguas y recursos nacionales y protección de la salud pública.

<sup>9</sup> El direccionamiento de esta normatividad está contemplado desde nuestra Constitución Política, de la que se generan leyes de carácter federal y general, estas leyes, a su vez, dan origen a los reglamentos y, finalmente, de estos se crean las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). La Constitución política considera los artículos 4 (salud) y 27 (Aguas propiedad de la nación), la Ley Federal de Aguas Nacionales los artículos 85 al 96, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente los artículos 117 al 133, la Ley General de Salud los artículos 116, 118 y 122; el Reglamento de Aguas Nacionales los artículos 133 al 156, el Reglamento para Prevención y Control de la Contaminación del Agua los artículos 1335 al 1346 y las Normas Oficiales Mexicanas respecto a la calidad del agua, descargas de aguas residuales y muestreo de las mismas en las normas oficiales mexicanas NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996, NOM-003-ECOL-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002.

Se ha mencionado que desde la entrada en operación comercial de la Central, la planta de tratamiento de aguas residuales no fue diseñada con un sistema que tratara o acondicionara los lodos generados en su proceso; sin embargo, a partir del año 2002 se creó con carácter de obligatorio el cumplimiento de la NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual establece las características con que deben cumplir los residuos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales antes de su disposición final.

<sup>25</sup> Ahora bien, el proceso de generación de energía eléctrica es continuo, lo cual requiere simultáneamente suministro constante de agua residual tratada, es decir, que al operar en forma continua la planta de tratamiento de aguas residuales, ésta generará constantemente residuos que deben ser tratados previo a su disposición final; las cantidades de estos residuos son del orden del 8 al 10 % del total de agua que ingresa a la planta para ser tratada, situación que produce una cantidad industrial de residuos que si bien la normatividad es invariable en cuanto a cantidades de residuos generados, el beneficio ambiental al ser tratados será relevante, ya que éstos mismos pueden ser empleados, entre otros usos, como abonos para mejorar la fertilidad de suelos.

Por lo descrito anteriormente, la Central Termoeléctrica Valle de México se ve en la necesidad de establecer la metodología para dar cumplimiento a la normatividad aplicable a este caso, por lo que esta propuesta ofrecerá las bases para establecer las especificaciones técnicas para acondicionar los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ya sea para realizarse con recursos técnicos propios o bien por medio de un tercero.



## **I.2 JUSTIFICACIÓN**

La elaboración de esta tesis tiene como finalidad establecer la ingeniería básica que sirva de base para llevar a cabo el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Central Termoeléctrica Valle de México, estos principios servirán como fundamentos para el establecimiento de las especificaciones técnicas que requerirá la construcción o instalación de la infraestructura con que deberá dotarse a la propia planta para poder llevar a cabo las actividades que se generen al realizar el tratamiento de los lodos, para que de esta manera se posibilite su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Una vez establecidas las especificaciones técnicas, CFE podrá adquirir el servicio de tratamiento a los residuos generados o construirá el paquete de tratamiento, para cualquiera de estas alternativas, la presente propuesta establecerá invariablemente los requisitos técnicos para su funcionamiento.

## **I.3 OBJETIVOS Y ALCANCE**

La propuesta de ingeniería básica para el tratamiento de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la central termoeléctrica Valle de México persigue los siguientes objetivos generales y específicos:

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar los criterios de Ingeniería básica para tratar los lodos generados en la planta de aguas residuales de la Central Termoeléctrica Valle de México que permitan dar cumplimiento a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar propuesta para tratamiento de lodos mediante proceso aeróbico.
- Comparar y evaluar propuesta para tratamiento de lodos mediante proceso anaeróbico respecto al proceso aeróbico.



## ALCANCE

La propuesta aplica para el caso específico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Central Termoeléctrica Valle de México, en la cual es procesada agua residual, cuyo proceso genera lodos de desecho. Las características fisicoquímicas tanto del agua cruda como de los lodos se enlistan a continuación:

**TABLA I.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA**

PARÁMETRO	UNIDAD MEDIDA	VALOR
DQO	ppm	800
DBO	ppm	300
SST	ppm	450
pH		7-9
Alcalinidad total	ppm CaCO <sub>3</sub>	180
Alcalinidad F	ppm CaCO <sub>3</sub>	0
Conductividad específica	µmhos	1800
Dureza total	ppm CaCO <sub>3</sub>	120
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub>	40
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	20
Sílice	ppm SiO <sub>2</sub>	60
Cloruros	ppm BaCl <sub>2</sub>	300
ABS	ppm	10
Oxígeno disuelto	ppm	<2

**Referencia:** Informe diario de tratamiento y control de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras O-2103-551-R-03 (CTVM-08).

**TABLA I.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS LODOS DE DESECHO**

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Sedimentabilidad	ml/L	250
Índice volumétrico	ml/gr	100
Sólidos sedimentables	mg/L	800
Índice CRETIB	N/A	Negativo

**Referencia:** Informe diario de tratamiento y control de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras O-2103-551-R-03 (CTVM-08).



## II. PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

### II.1 ANTECEDENTES

<sup>25</sup> La producción de agua tratada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), también conocida como Planta de Tratamiento de Aguas Negras (PTAN) de la Central Termoeléctrica Valle de México, consiste en la eliminación de materia orgánica soluble y partículas presentes en el agua cruda en cuatro etapas principales: tratamiento preliminar, sedimentación primaria, aireación y sedimentación secundaria; el tratamiento se lleva a cabo en tres paquetes denominados unidad 1 (U-1), unidad 2/3 (U-2/3) y unidad 4 (U-4), los que operativamente son similares, difieren principalmente en su capacidad de producción.

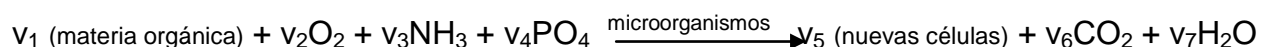
El proceso que se emplea es el de tratamiento biológico en la modalidad de lodos activados, del cual se presenta a continuación una descripción general.

### II.2 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

<sup>1</sup> Los objetivos generales de el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas son (1) transformar componentes disueltos y partículas biodegradables en productos finales aceptables, (2) capturar e incorporar coloides suspendidos y no suspendidos en floculos biológicos o biopelículas, (3) transformar o remover nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, y (4) en algunos casos, remover trazas de componentes orgánicos específicos. Para agua residual industrial, el objetivo es remover o reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. Debido a que algunos de los componentes y compuestos encontrados en aguas industriales de desecho son tóxicos para los microorganismos, puede requerirse un pre tratamiento antes de que el agua de desecho pueda ser descargada a un sistema colector.

### ROL DE LOS MICROORGANISMOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

La remoción de la demanda bioquímica de oxígeno disuelta y partículas carbonosas y la estabilización de materia orgánica encontrada en el agua de desecho son llevadas a cabo biológicamente usando una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos son usados para oxidar la materia orgánica disuelta y partículas carbonosas orgánicas en productos más simples y biomasa adicional, como se representa en la siguiente ecuación para la oxidación biológica aerobia de la materia orgánica:







En la ecuación anterior, el oxígeno ( $O_2$ ), amoníaco ( $NH_3$ ) y fosfato ( $PO_4$ ) son usados para representar nutrientes requeridos para la conversión de materia orgánica a productos finales simples. El término mostrado sobre la flecha direccional es usado para denotar el hecho de que los microorganismos son necesarios para llevar a cabo el proceso de oxidación. El término nuevas células es usado para representar la biomasa producida como resultado de la oxidación de la materia orgánica. Los microorganismos también son usados para remover nitrógeno y fósforo en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Bacterias específicas son capaces de oxidar amoníaco (nitrificación) a nitrito y nitrato, mientras otras bacterias pueden reducir el nitrógeno oxidado a nitrógeno gaseoso. Para remoción de fósforo, los procesos biológicos son configurados para fortalecer el crecimiento de bacterias con la capacidad de tomar y almacenar grandes cantidades de fósforo inorgánico.

Debido a que la biomasa tiene una densidad ligeramente mayor que la del agua, la biomasa puede removerse del líquido tratado por sedimentación gravitacional. Es importante notar que a menos que la biomasa producida de la materia orgánica sea removida sobre una base periódica, el tratamiento completo no ha sido logrado porque la biomasa, la cual por sí misma es orgánica, será medida como demanda bioquímica de oxígeno en el efluente. Sin la remoción de la biomasa del líquido tratado, el único tratamiento logrado es el asociado con la oxidación bacteriana de una porción de la materia orgánica originalmente presente.

El proceso de lodos activados fue llamado así porque éste involucraba la producción de una masa activada de microorganismos capaces de estabilizar un desecho bajo condiciones aeróbicas. En el tanque de aireación, el tiempo de contacto es provisto por el mezclado y aireación del influente de agua residual con la suspensión microbiológica, generalmente referida como un licor mezclado de sólidos suspendidos o licor mezclado volátil de sólidos suspendidos. Equipo mecánico es usado para proveer el mezclado y la transferencia del oxígeno en el proceso. El licor mezclado entonces fluye a un clarificador donde la suspensión microbiológica es sedimentada y espesada. La biomasa sedimentada, descrita como lodo activado debido a la presencia de microorganismos activos, es retornada al tanque de aireación para continuar la biodegradación de la materia orgánica del influente. Una porción de los sólidos espesados es removida periódicamente debido a que el proceso genera exceso de biomasa que se acumularía con los sólidos no biodegradables contenidos en el influente. Si los sólidos acumulados no son removidos, estos eventualmente encontrarán su trayectoria hacia el efluente del sistema.

Un aspecto importante del proceso de lodos activados es la formación de partículas floculantes, oscilando en tamaños de 50 a 200  $\mu m$ , los cuales pueden ser removidos por sedimentación gravitacional, dejando un líquido relativamente claro como el efluente tratado. Típicamente, más del 99% de los sólidos suspendidos pueden ser removidos en la etapa de clarificación.



## LIMITACIONES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

<sup>5</sup> Como los tratamientos primario y secundario de aguas residuales no eliminan a los nitratos ni a los fosfatos, éstos contribuyen a acelerar el proceso de eutroficación de los lagos, de las corrientes fluviales de movimiento lento y de las aguas costeras.

Los tratamientos primario y secundario de las aguas residuales tampoco eliminan productos químicos persistentes como plaguicidas, ni los radioisótopos de vida media grande.

Entre el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales eliminan cerca del 90% de los sólidos en suspensión y cerca del 90 % de la materia orgánica (90% de la demanda bioquímica de oxígeno). Una parte de los sólidos eliminados en este tratamiento se utiliza para la elaboración de fertilizantes pero la mayor parte de ellos se usa en relleno de terrenos o bien se elimina desechándolo directamente al mar.

El tratamiento primario y secundario combinados deja todavía en el agua tratada entre un 3 y un 5% en peso de los desechos que requieren oxígeno, 3% de los sólidos en suspensión, 50% del nitrógeno (principalmente en forma de nitrato), 70% del fósforo (principalmente en forma de fosfatos) y 30% de la mayoría de los compuestos de metales tóxicos y de productos químicos orgánicos.

La descripción general de este proceso se muestra en las figuras II.1.1 y II.1.2 siguientes:

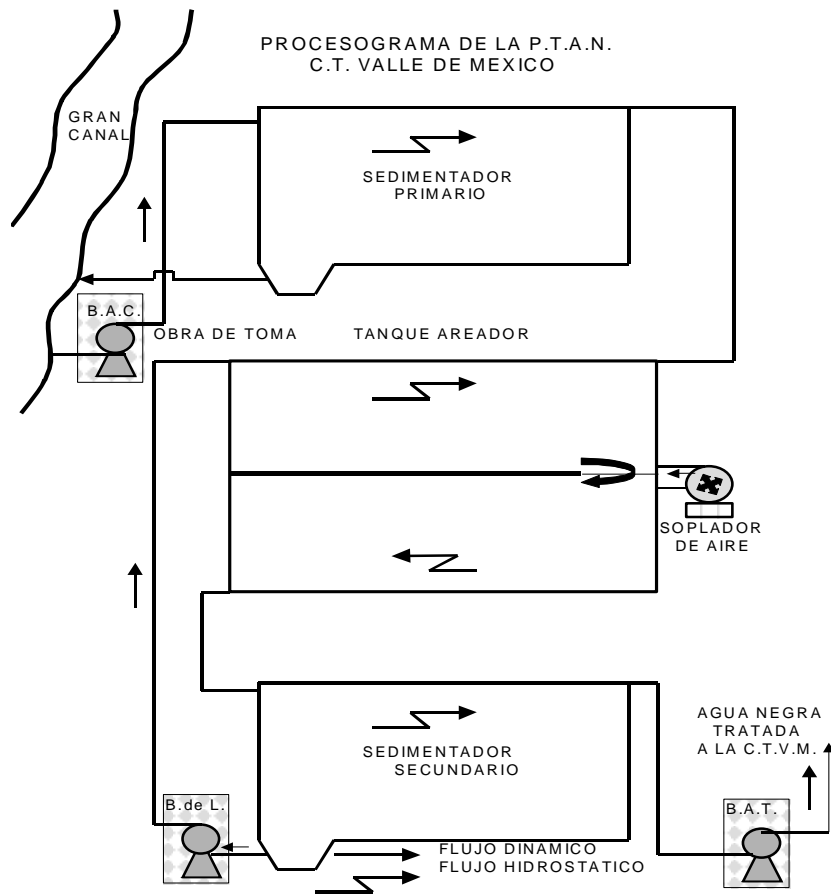


Figura II.1.1 Diagrama del proceso de producción de agua residual tratada de la C.T. Valle de México

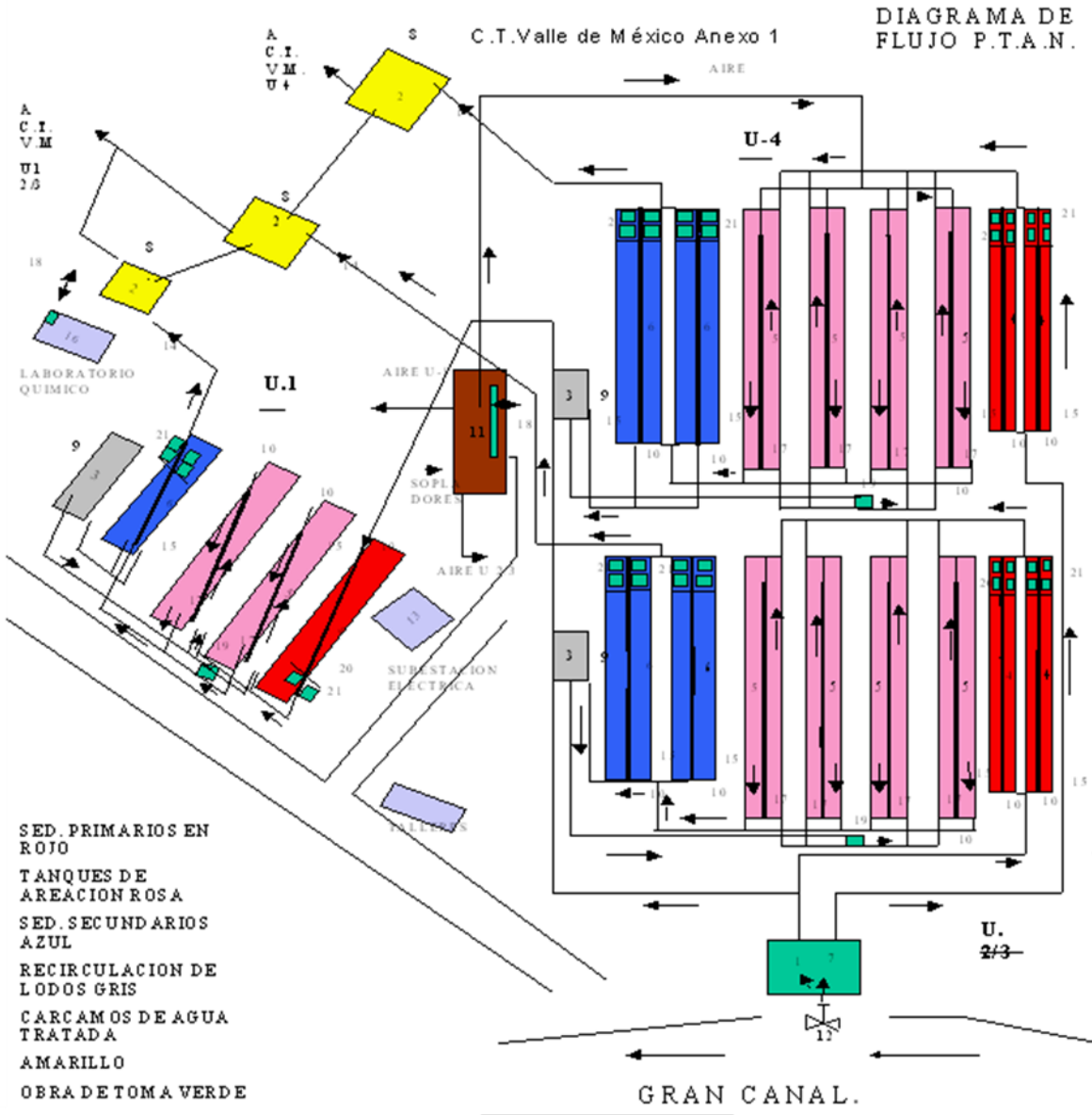


Figura II.1.2 Diagrama de flujo del proceso de producción de agua residual tratada de la C.T. Valle de México

## II.3 TRATAMIENTO PRELIMINAR

<sup>23</sup> El agua cruda que alimenta a la planta es tomada del gran canal de desagüe de la Ciudad de México, en esta etapa se separan sólidos suspendidos de mayor tamaño como plásticos, trozos de madera, neumáticos, etc., mediante un sistema que consiste de una rejilla con peines giratorios que remueven los sólidos retenidos en la rejilla y los deposita en una tolva, de aquí son retirados manualmente para su disposición final (figura II.3.1). De esta forma se permite solo el paso de agua cruda libre de estas impurezas hacia el cárcamo de succión de las bombas de agua cruda. Los sólidos retenidos son tratados de acuerdo a lo establecido por el sistema ambiental vigente en la Central y que está certificado por la norma ISO 14001:2004.



**Figura II.3.1 Sistema de rejillas en obra de toma**

El sistema de rejillas está constituido por una criba metálica rectangular con dimensiones de 3.0 por 0.83 metros, la separación entre barrotes es de 2.0 centímetros, por el centro de esta separación se desplazan en movimiento ascendente los peines que son impulsados mediante cadenas y motor reductor con motor eléctrico de 1 HP de potencia, las dimensiones de los peines son 0.83 por 0.20 metros.

## II.4 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

<sup>23</sup> El agua cruda que ha sido sometida al tratamiento preliminar es tomada por las bombas de agua cruda y la descargan a los sedimentadores primarios, este arreglo consta de cinco bombas centrífugas verticales de 300 LPS de capacidad cada una mas tres bombas del mismo tipo con capacidad de 250 LPS cada una, son impulsadas por motores eléctricos de 60 HP de potencia. Las bombas 1, 2, 3, 4 y 5 están sumergidas, por lo que este cárcamo es llamado cárcamo húmedo; las bombas 6, 7 y 8 succionan de un cabezal, por lo que ya no son sumergidas y el cárcamo en este caso es llamado cárcamo seco. El paquete de la U-1 es alimentado por las bombas de agua cruda 1 y 2, manteniendo una bomba en servicio y la otra de reserva, la alimentación al paquete de la U-2/3 se realiza

mediante las bombas 3, 4 y 5, el paquete de la U-4 se alimenta por las bombas 6, 7 y 8, manteniendo en estos dos últimos paquetes una bomba en servicio y dos en reserva (figura II.4.1).

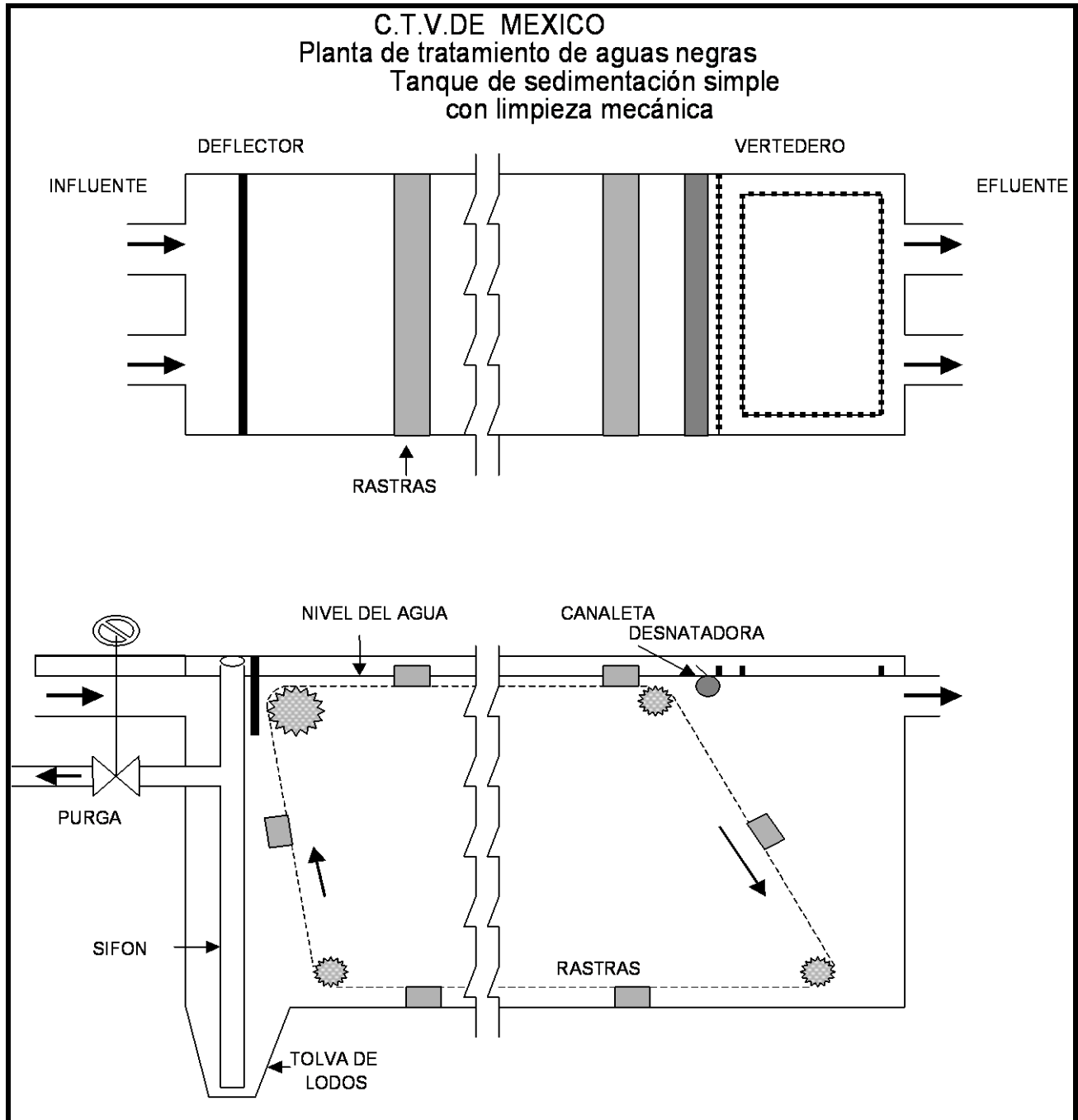


**Figura II.4.1 Cárcamos y bombas de agua cruda**

Los sedimentadores primarios son recipientes de concreto rectangulares abiertos, se cuenta con un total de diez sedimentadores, dos corresponden a la U-1 y en conjunto almacenan un total de  $1,141 \text{ m}^3$ , a la U-2/3 y U-4 corresponden cuatro sedimentadores con una capacidad de  $2,720 \text{ m}^3$  en conjunto para ambos casos, están equipados con deflectores, vertederos y desnatadores en la superficie del agua, en el fondo del sedimentador se ubican los sifones, tolvas y un sistema de rastras (vigas de madera) unidas con cadenas e

impulsadas por motoredutores con motor eléctrico de 1.5 HP de potencia. En esta etapa de tratamiento se reduce la velocidad lineal de flujo al chocar la descarga de agua cruda en los deflectores, para que, por efectos de la gravedad, sedimenten los sólidos sedimentables y mediante el movimiento giratorio de las rastras se impulse el sedimento hacia las tolvas en el fondo del sedimentador y se eliminen finalmente mediante purgas intermitentes realizadas con el tubo sifón, el cual funciona bajo el principio de la diferencia de presión existente en el fondo del tanque y la presión atmosférica en la descarga, haciendo por esta razón un vacío que impulsa el fluido hacia el punto de menor presión, este efluente es bajo en su concentración de sólidos suspendidos. El movimiento cíclico de las rastras es continuo en el fondo del sedimentador y por la superficie del agua, de tal forma que durante su desplazamiento por el fondo impulse el sedimento hacia las tolvas y en su movimiento por la superficie impulse la capa superficial de materia no sedimentable (grasas y aceites) hacia la canaleta tubular metálica de desnatación, aprovechando que estos sólidos flotan en la superficie y la canaleta desnataadora se instala antes de los vertederos a la altura del nivel del agua en el sedimentador, logrando así su captación continua y descargándose también hacia el canal.

Una representación gráfica de este arreglo se puede observar en las figuras II.4.2 y II.4.3.



**Figura II.4.2 Sedimentador simple con limpieza mecánica**

<sup>10</sup> En esta etapa se genera un volumen de lodos de 1 a 2% del volumen del caudal tratado, con la remoción de estos sólidos se logra una reducción en el contenido de materia orgánica del agua cruda de aproximadamente 35% de la concentración inicial. Los sólidos aquí generados son descargados directamente al canal aguas abajo, de manera que a la capacidad máxima de producción se desechará un volumen aproximado de lodos primarios de 648 a 1,296 m<sup>3</sup> diarios (figura II.4.3).



**Figura II.4.3 Sedimentador primario**

En los sedimentadores primarios se mantiene el flujo tratado con un tiempo de residencia de aproximadamente 2 horas; con la finalidad de desechar los sólidos precipitados por acción gravimétrica se realizan purgas de fondo con una periodicidad de cada 4 horas.

## II.5 PROCESO BIOLÓGICO

Para esta etapa se cuenta con diez aireadores rectangulares de concreto distribuidos de la siguiente manera:

<sup>23</sup> La U-1 cuenta con dos aireadores con capacidad de 2,952 m<sup>3</sup> en conjunto, la U-2/3 a su vez está equipada con cuatro aireadores con una capacidad en conjunto de 8,200 m<sup>3</sup>, mientras que la U-4 cuenta con cuatro aireadores que en conjunto integran un volumen de 7,800 m<sup>3</sup>, todos son recipientes abiertos donde el movimiento del fluido sigue una trayectoria en U, cuentan con difusores de aire instalados en el fondo, de tal forma que se logre la homogenización en la distribución de oxígeno proveniente del aire suministrado por nueve sopladores centrífugos con capacidad de 5000 ft<sup>3</sup>/min, impulsados por motores eléctricos de 250 HP de potencia cada uno; en la pared frontal se realiza la alimentación del agua y el lodo activado mediante dos bombas centrífugas de 68 LPS en la U-1, mas tres bombas del mismo tipo pero con capacidad de 110 LPS en la U-2/3 y tres bombas





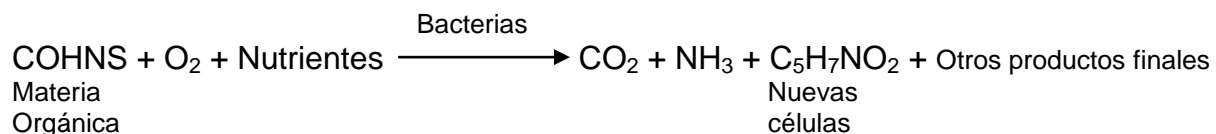
similares con capacidad de 105 LPS en la U-4, en ambos casos, a diferencia del anterior, la alimentación del agua y los lodos activados se realiza en la pared lateral del tanque, todas estas bombas de recirculación de lodos son impulsadas por motores eléctricos de 25 HP de potencia, después de seguir la trayectoria en U la mezcla sale por el extremo opuesto al punto de alimentación del aireador (figura II.5.1).

La distribución de este equipo es como sigue: los aireadores 1 y 2 corresponden a la U-1, a la U-2/3 los aireadores 3, 4, 5 y 6, a la U-4 los aireadores 7, 8, 9 y 10, los insumos complementarios (aire y lodo activado) a estos tanques son suministrados por los sopladores 1, 2 y 3 así como las bombas recirculadoras de lodos 1 y 2 a la U-1, con un soplador y una bomba de lodos en servicio y los restantes en reserva; los sopladores 4, 5, y 6 en conjunto con las bombas recirculadoras de lodos 3, 4 y 5 para la U-2/3 y, finalmente, los sopladores 7, 8 y 9 con las bombas recirculadoras de lodos 6, 7 y 8 a la U-4, operando en ambos paquetes con un soplador y dos bombas de lodos en servicio, los restantes en reserva. En estos tanques es donde se lleva a cabo la etapa principal del tratamiento, la cual corresponde a la siguiente descripción:

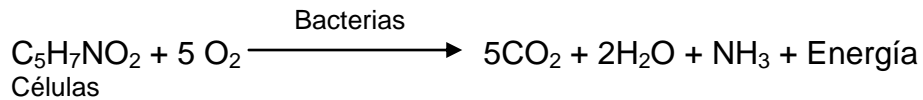
El efluente de los sedimentadores primarios es conducido por gravedad a través de canaletas de concreto hacia los aireadores o bioreactores, donde al mezclarse con los lodos activados de retorno procedentes del sedimentador secundario, también llamado clarificador, y en presencia de oxígeno, se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica presente en el agua a tratar. Esta mezcla recibe el oxígeno del aire que es difundido mediante burbujas finas desde el fondo del reactor, el aire suministrado simultáneamente proporciona la energía de mezclado necesario para mantener los sólidos en suspensión. Este es un proceso acumulativo, por lo cual, eventualmente se producirá mayor cantidad de lodos activados de los requeridos, la acumulación o exceso de lodos activados, se retira de acuerdo a la necesidad del proceso por medio de purgas.

<sup>3</sup> La degradación de la materia orgánica se lleva a cabo de acuerdo a lo siguiente:

**Oxidación y síntesis:**



## Respiración endógena:



En la reacción de oxidación, COHNS (Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre) es usado para representar la materia orgánica presente en el agua, estos componentes fungen como los donadores de electrones, mientras el oxígeno actúa como receptor de los mismos. Aunque la ecuación de la respiración endógena es mostrada como resultante de productos finales simples y energía, los productos orgánicos estabilizados también son formados.

Al encontrarse los microorganismos en un medio propicio para el desarrollo de sus funciones metabólicas, con suficiente oxígeno y alimento, estos se reproducen formando así los lodos activados.

El tiempo de residencia de esta mezcla en el aireador es aproximadamente 6 horas en la U-1 y 8 horas en U-2/3 y U-4, durante este periodo se llevan a cabo las reacciones que dan como lugar que los contaminantes o materia orgánica presente en el agua cruda sea degradada o estabilizada; es decir, transformada a compuestos más estables. El efluente del aireador es una mezcla de agua con alto contenido de sólidos que ahora son microorganismos que han adquirido consistencia y peso, el agua ha perdido aproximadamente un 90% del total de los contaminantes que contenía inicialmente, la mezcla del agua y estos sólidos recibe el nombre de licor mezclado, el cual alimentará a los sedimentadores secundarios fluyendo también por gravedad.



Figura II.5.1 Aireador

Para la etapa de sedimentación secundaria la infraestructura también consiste en diez sedimentadores rectangulares; a la U-1 le corresponden dos con un volumen de 972 m<sup>3</sup> de capacidad conjuntamente, la U-2/3 tiene cuatro sedimentadores con una capacidad integrada de 2,206 m<sup>3</sup>, la U-4 también cuenta con cuatro sedimentadores que en conjunto tienen una capacidad de 2,200 m<sup>3</sup>.



<sup>23</sup> En la última etapa del proceso, la separación del agua y los lodos se realiza en el tanque sedimentador secundario o clarificador, de características similares al sedimentador primario, con la diferencia principal de que en este último, el sistema de rastras ya no se desplaza por la superficie a la altura del nivel del agua en el tanque, ahora el movimiento es en el fondo para impulsar los sólidos precipitados y conducirlos hacia las tolvas de salida, de donde son extraídos en forma continua por el fondo del tanque mediante el efecto de sifón y conducidos por gravedad hacia el cárcamo de succión de las bombas recirculadoras de lodos, las cuales descargan en la cisterna conocida como caja partidora de lodos, de donde por efecto de gravedad los lodos activados fluyen y se distribuyen en cada aireador, haciéndose ésta una operación cíclica y continua. Debido a que la producción de lodos activados es acumulativa, y a que los lodos deben ser reemplazados de acuerdo a su edad, los sobrantes deben ser eliminados a través de la caja partidora, en promedio se desechan un total de 10 a 15 LPS de esta solución en cada caja, es decir, un caudal total de 30 a 45 LPS. El tiempo de retención en el clarificador es de 2 horas aproximadamente (figura II.5.2).



**Figura II.5.2 Sedimentador secundario**

Finalmente, el agua clarificada que ha sido separada de los sólidos es ya el agua tratada que fluye por gravedad hacia los tres cárcamos de succión de las bombas de agua tratada para ser enviada por bombeo hacia la Central (figura II.5.3) a través de dos líneas subterráneas denominadas como líneas de conducción de agua residual tratada, la primera de ellas conduce conjuntamente el agua tratada de suministro a las unidades

1, 2 y 3; la segunda línea conductora lo hace solo para la unidad 4, estas tuberías tienen un diámetro de 36 pulgadas, son construidas de concreto reforzado y ambas tienen una longitud total aproximada de 7,000 metros.



**Figura II.5.3 Cárcamos y bombas de agua tratada**

El equipo de bombeo de agua tratada está compuesto por un total de nueve bombas centrífugas verticales, correspondiendo tres a cada paquete de producción, las bombas 1, 2 y 3 están acopladas a motor eléctrico de 25 HP de potencia y un gasto de 75 LPS cada una; las bombas 4, 5 y 6 son similares pero de mayor capacidad, cuentan con motor eléctrico de 75 HP de potencia y su caudal es de 150 LPS, en conjunto con las tres bombas anteriores descargan

en la línea de conducción de la U-1, 2 y 3, por último, las bombas 7, 8 y 9 de las mismas características a las del paquete anterior, descargan en la línea de conducción de la U-4.

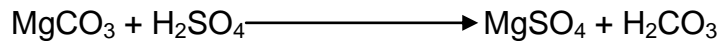
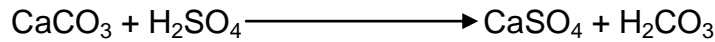
## II.6 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El agua tratada generada por el proceso descrito anteriormente es empleada en la Central como medio de enfriamiento, principalmente para condensación del vapor que sale de la turbina de baja presión en un condensador de superficie, el calor que absorbe esta agua es rechazado en una torre de enfriamiento de tiro inducido. Para evitar problemas de ensuciamiento microbiológico e incrustación de sales en las superficies de transferencia de calor, se emplea un tratamiento adicional a esta agua, el cual consiste en la adición de ácido sulfúrico concentrado, inhibidores de corrosión e incrustación para acero y cobre, biocidas oxidantes y no oxidantes e inhibidores de formación de espuma.

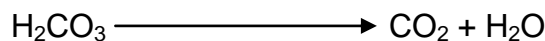
<sup>24</sup> El ácido sulfúrico concentrado desempeña la función de modificar la alcalinidad del agua mediante la transformación de los carbonatos de calcio y magnesio (dureza) en sustancias más solubles para que se evite su precipitación, de tal manera que las sales formadas se mantengan en solución en el agua circulante, las cuales finalmente serán desechadas del sistema mediante purgas de fondo.



Las reacciones que se llevan a cabo entre las sales presentes en el agua circulante y el ácido sulfúrico corresponden a lo siguiente:



En ambos casos el ácido carbónico formado durante estas reacciones es desintegrado al contacto con el aire:



<sup>24</sup> Como agente inhibidor de corrosión e incrustación para acero se emplea actualmente el fabricado a base de ácido hidroxifosfonocarboxílico/mono etanol amina en solución acuosa, su mecanismo protector consiste en dispersar los iones que forman las sales, evitando así que éstas se precipiten y se incrusten en la superficie de contacto.

El uso de inhibidor de corrosión está referido a la protección de las aleaciones de cobre que constituyen el material de construcción de los tubos de los equipos de intercambio de calor, para lo cual se utiliza tolitriazol (4 y 5 metil benzotriazol) en solución acuosa, el mecanismo protector de este compuesto consiste en la formación de una capa protectora en la superficie interna de los tubos.

Previo a la aplicación de biocidas oxidantes y no oxidantes se dosifica biodispersante (dimetilamida) que forma un ambiente momentáneo agradable para los microorganismos y que permite que las grandes aglomeraciones de éstos se dispersen en grupos más reducidos, de esta forma al aplicar el biocida se favorece la destrucción de los microorganismos y se incrementa la eficiencia de los biocidas, el uso de microbicidas está orientado a controlar el ensuciamiento microbiológico en los equipos que emplean agua circulante, para lo cual se alterna la dosificación de microbicida industrial (ditiocarbamato de potasio o 5 cloro-2metil-4isotiazolin-3ona y 2 metil-4isotiazolin-3-ona) y microbicida de amplio espectro (tiocianometil benzotiazol o glutaraldehído), mismos que impiden que los microorganismos adquieran una resistencia por el uso continuo del cloro que es utilizado mayoritariamente para este fin, el uso de cloro se describe con mayor detalle en la sección de desinfección.

Considerando que el agua circulante fue obtenida inicialmente del canal de desagüe y que en consecuencia se trata de un agua de origen residual, es de esperarse que ésta contenga los compuestos con que se fabrican los detergentes, al ser compuestos que no son removidos en su totalidad durante el tratamiento biológico de esta agua, entonces estarán presentes en el agua circulante, lo cual originará la formación de espuma al modificar la tensión superficial del agua, por esta razón se emplean inhibidores de formación de espuma elaborados a base de alcoholes y ácidos grasos.



Finalmente, una vez que el agua ha sido utilizada en la torre de enfriamiento es descargada como agua residual hacia el cuerpo receptor, cumpliendo con la norma ecológica NOM-001-ECOL-1994 y con las condiciones particulares de descarga establecidas para la Central por la Comisión Nacional del Agua. La operación de este sistema es permanente y cíclica, de tal manera que continuamente se está reponiendo agua fresca al sistema para compensar las pérdidas por evaporación, purgas y arrastre, lo cual obliga a que la operación de la planta tratadora de agua residual también sea continua y de una importancia vital en el proceso de generación de energía eléctrica en la Central Termoeléctrica Valle de México.

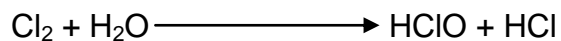
<sup>26</sup> Otro uso hacia el que se destina una fracción del volumen de agua residual tratada es para la producción de agua de repuesto a los generadores de vapor y para el sistema de nebulización instalado a la succión del compresor axial de las unidades turbo gas, para lo cual, el agua es sometida a un tratamiento de desmineralización por ósmosis inversa con electrodesionización en una planta de 30 m<sup>3</sup>/hr de capacidad.

## II.7 DESINFECCIÓN

La desinfección a que se somete el agua circulante tiene la finalidad de mantener bajo control los problemas operativos generados por el ensuciamiento microbiológico de las superficies de intercambio de calor, para este fin se emplean tratamientos a base de productos como cloro y microbicidas oxidantes y no oxidantes.

<sup>24</sup> El principal biocida empleado en la central es el cloro, este es adicionado en solución acuosa al agua de circulación, manteniendo un residual de cloro libre de 2 ppm como máximo, con ello se asegura el control de la población de microorganismos patógenos dañinos.

Al mezclar cloro gaseoso con agua de dilución se presenta la reacción de hidrolización, de la cual se obtiene ácido hipocloroso, que es el producto que finalmente funge como biocida de acuerdo a la siguiente reacción:



Cuando el cloro es agregado, las sustancias rápidamente oxidables, tales como Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, H<sub>2</sub>S y materia orgánica, reaccionan con el cloro y reducen la mayoría de éste a la forma de ión cloruro, después de satisfacer esta demanda, el cloro agregado continua reaccionando rápidamente con el amoníaco presente en el agua para formar cloraminas, el cloro consumido hasta ahora en estos compuestos se llama cloro combinado. Las cloraminas remanentes serán oxidadas a óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y nitrógeno (N<sub>2</sub>) y el cloro



continuará reduciéndose a ión cloruro. Con la adición continua de cloro la mayoría de las cloraminas serán oxidadas. Si continua la adición de cloro se obtendrá un incremento directamente proporcional en la concentración de cloro libre (hipoclorito no reaccionado), el cual como se mencionó anteriormente, es el que ejerce la función destructiva de los microorganismos, los cuales pueden ser bacterias reductoras de fierro, hongos destructores de la lignina que constituye la madera de las torres de enfriamiento, algas que suministran sobre peso a la estructura de la torre de enfriamiento y obstrucción en los tubos de los condensadores principales y equipos de enfriamiento auxiliares como son los enfriadores de aceite lubricante de equipos críticos, muestreos, etc.

### III. INGENIERÍA BÁSICA DEL TRATAMIENTO DE LODOS

#### III.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS GENERADOS

En la tabla III.1 se muestran las dos alternativas propuestas.

**TABLA III.1 ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS LODOS GENERADOS**

Alternativa	Tren de Procesos
1	Sedimentador primario + reactor biológico (aireación) + sedimentador secundario + espesador + deshidratación.
2	Sedimentador primario + reactor biológico (aireación) + sedimentador secundario + espesador + digestión anaerobia + deshidratación.

#### III.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

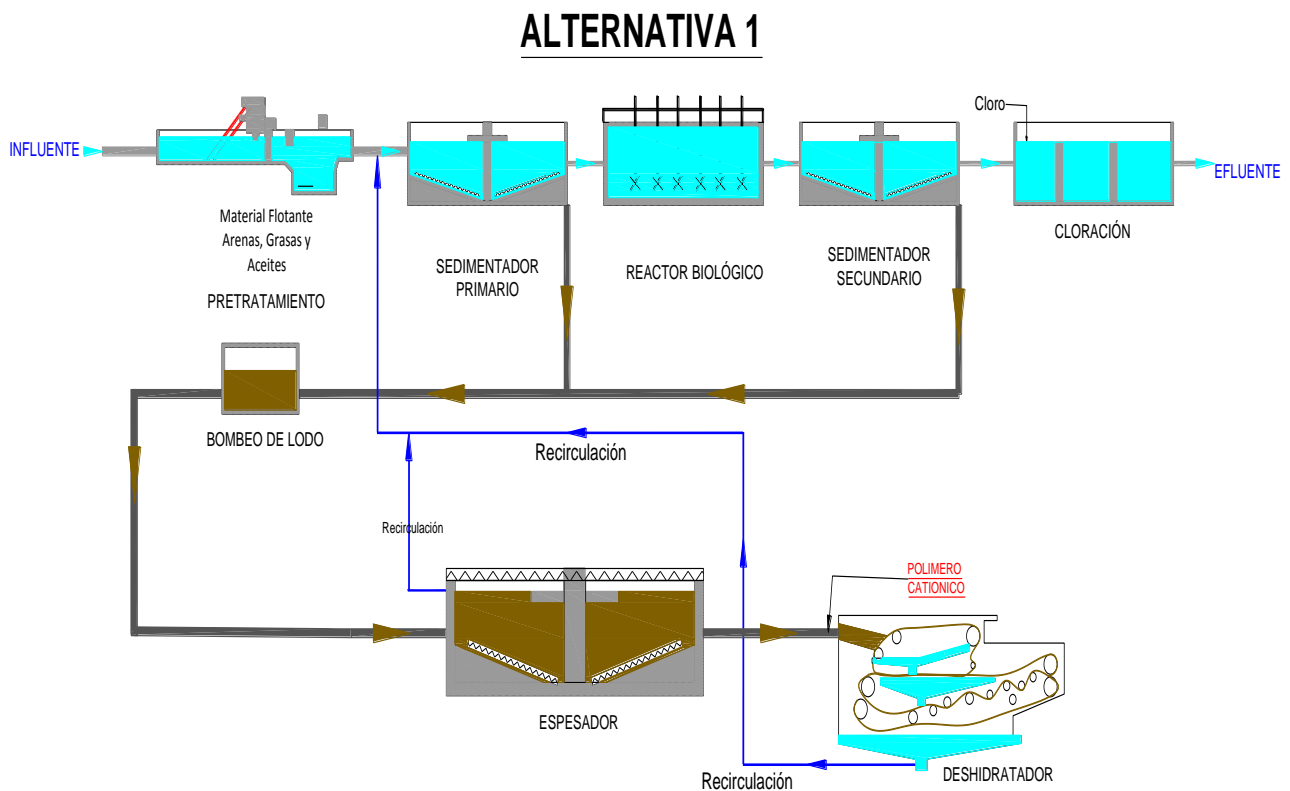
Se presenta un estudio de dos alternativas que se muestran en la tabla III.1, la que es seleccionada incluye el tratamiento de los lodos generados mediante un proceso aeróbico en un digestor, pasando antes por un espesador, y finalmente por un proceso de secado o deshidratación de los sólidos.

### III.3 SELECCIÓN DE SITIO PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sitio seleccionado para la construcción e instalación de los equipos seleccionados se encuentra ubicado en el espacio libre a un costado de los tanques sedimentadores primarios de la U-2/3 y la U-4 (anexo 2).

### III.4 ANÁLISIS DE MODIFICACIONES AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR CADA ALTERNATIVA

La alternativa 1 se representa en la figura III.4.1:



**Figura III.4.1 Sedimentador primario, reactor biológico (aireación), sedimentador secundario, espesador, deshidratación.**

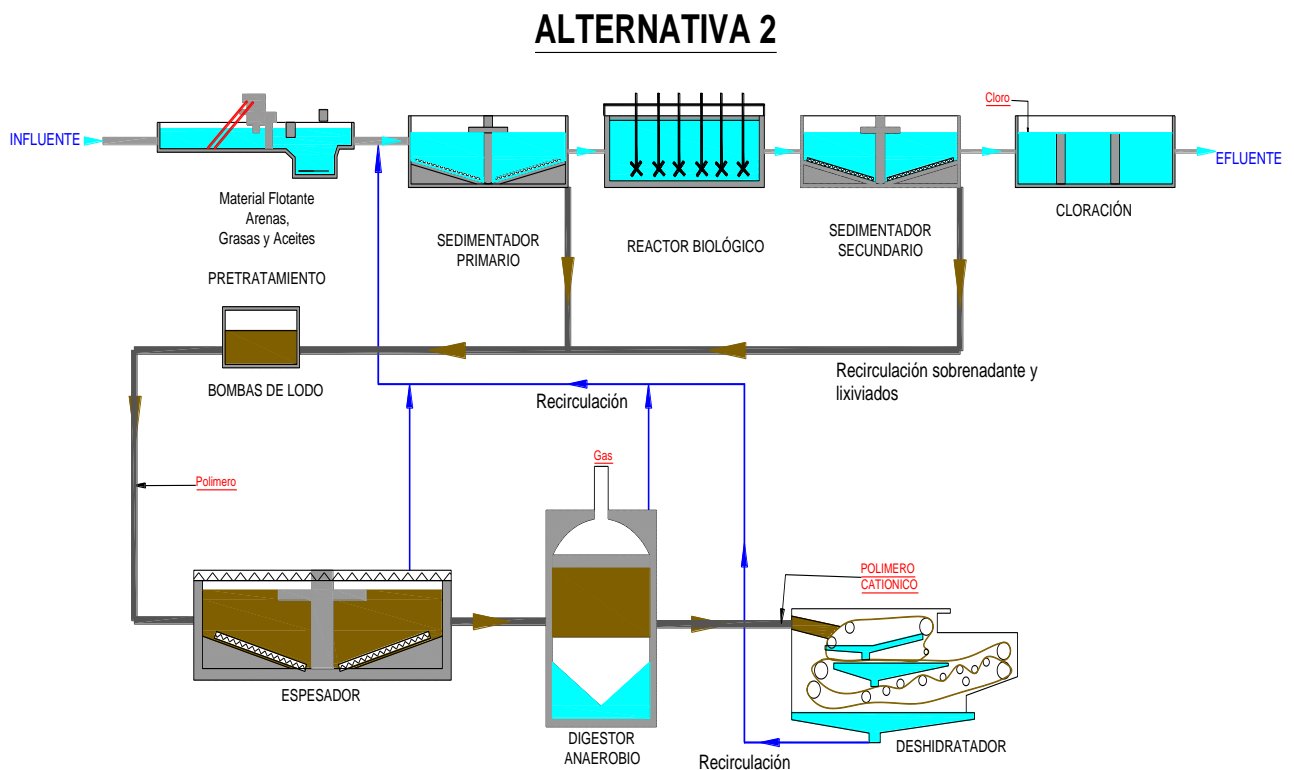


- Se deja el sistema tal cual y solo se adiciona el sistema de tratamiento de lodos.
- El lodo es espesado y después deshidratado por medio de filtro banda.
- Se adquiere e instala un espesador de lodos y un filtro banda con pre desaguado.
- Se construye una caseta de tratamiento de lodos de dos niveles.

Bajo este esquema se operará normalmente cuando la capacidad de la planta no sea mayor a 750 LPS, si se incrementa la capacidad se tendrá insuficiente cantidad de aire.

El sistema de tratamiento de lodos está diseñado para tratar lodos producidos con capacidad de la planta de 750 LPS.

La alternativa 2 es representada en la figura III.4.2:



**Figura III.4.2 Sedimentador primario, reactor biológico (aireación), sedimentador secundario, espesador, digestión anaerobia, deshidratación.**



- Se deja el sistema tal cual y solo se adiciona el sistema de tratamiento de lodos.
- El lodo es espesado, estabilizado en un reactor anaerobio y después deshidratado por medio de filtro banda.
- Se adquiere e instala un espesador de lodos, un reactor anaerobio y un filtro banda con pre desaguado, se construye una caseta de tratamiento de lodos de dos niveles.

Bajo este esquema se operará normalmente cuando la capacidad de la planta no sea mayor a 750 LPS, si se incrementa la capacidad se tendrá insuficiente cantidad de aire.

El sistema de tratamiento de lodos está diseñado para tratar lodos producidos con capacidad de la planta de 750 LPS. El digestor anaeróbico produciría hasta un 30% menos de lodo que el proceso convencional, pero su operación es más compleja y requiere de mayor supervisión además de que requiere alta inversión, por tal motivo esta opción queda descartada.

El sistema está diseñado para tratar lodos producidos con capacidad de la planta de hasta 750 LPS.

### III.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para analizar el comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se utilizó el programa CAPDET (Computer Assisted Program for the Design of Wastewater Treatment Facilities). Se realizaron las corridas considerando las siguientes alternativas:

- Diseño para 750 LPS, con la carga de contaminantes actual y en el reactor SST= 1822 mg/l y SVT= 1518 mg/l.
- Diseño y operación para 750 LPS, con la carga de contaminantes actual y en el reactor SST= 1822 mg/l y SVT= 1518 mg/l.
- Diseño y operación para 750 LPS, con una carga de 300 y 500 mg/l de DBO, y en el reactor SST= 3000 mg/l y SVT= 2100 mg/l para determinar el comportamiento de la planta con carga mayor.
- Diseño y operación para 750 LPS, con la carga de contaminantes actual, Sedimentador Primario y aeración por difusión en el reactor biológico con SST = 3000 mg/l y SVT= 2100 mg/l.



- Igual que la anterior pero modificando la carga de DBO a 300 y 500 mg/l.

Para los lodos generados por el sistema se consideró el siguiente tren de procesos, para todas las alternativas anteriores

- Espesamiento
- Deshidratación con filtros banda

Los resultados generados por el programa fueron comparados con los datos actuales de operación de la planta.

En el reactor biológico se utilizó SST=1822 mg/l y SVT=1518 mg/l. En este se determina que la planta tiene la capacidad para operar eficientemente con los 750 LPS; sin embargo, aunque la capacidad de la planta es suficiente hay que adecuar el sistema de aire en el reactor.

Cuando se consideran una carga mayor de DBO 300 y 500 mg/l y en licor mezclado SST= 3000 mg/l y SVT= 2100 en el reactor biológico, se determina que este se vuelve insuficiente para operar con 750 LPS, requiere mayor área y mejora en el sistema de aireación.

Posteriormente se realizaron las investigaciones hacia la inversión, operación y mantenimiento para las diferentes alternativas citadas anteriormente, de las cuales se establece lo siguiente:

En las condiciones de operación actuales de la planta, el costo unitario por operación y mantenimiento se incrementa a un poco más del doble.

Al considerar 300 y 500 mg/l de DBO, carga mayor a la de diseño, las unidades actuales presentan una baja entre el 20 y 30% en su eficiencia, esto implicaría aumentar el área de tratamiento, dependiendo claro de la calidad requerida en el efluente, la variación del costo unitario comparado con la anterior es mínima.

Derivado de lo anterior, se presenta la propuesta para el tratamiento, observando que la alternativa 1 resulta la más económica considerando sólo mejorar el sistema de aeración y tratar los lodos con el sistema compuesto por espesamiento y deshidratación.



### III.6 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### III.6.1 GASTO DE LODOS

Q sedimentador primario=1,300 m<sup>3</sup>/día

Q sedimentador secundario=45 LPS=3888 m<sup>3</sup>/día

Q<sub>T</sub>=3,888+1,300=5,188 m<sup>3</sup>/día=60.04 LPS

<sup>1</sup> Tomando datos del WASTEWATER ENGINEERING TREATMENT AND REUSE de los autores Metcalf-Eddy, tabla 14-34, página 1536, se obtiene la siguiente información:

**Tabla III.6.1 Criterios de diseño para digestores aeróbicos**

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Edad de lodos	Días	40 a 20°C 60 a 15°C
Carga orgánica superficial	Kg/m <sup>3</sup> día	1.6-4.8
<b>REQUERIMIENTO DE OXÍGENO</b>		
Células	KgO <sub>2</sub> /KgSSV	2.3
DBO <sub>5</sub> lodo primario	Destruído	1.6-1.9
<b>REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA PARA AIREACIÓN</b>		
Aireación mecánica	Kw/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	20-40
Difusión	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> min	0.02-0.04
Oxígeno residual	mg/l	1-2
Reducción de SSV	%	38-50

#### III.6.2 CONCENTRACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SST

<sup>14</sup> Para efecto de diseño del digestor de lodos vamos a tomar los siguientes datos de operación:

Temperatura de los lodos=20°C

Edad de los lodos=40 días



De la figura 14-31 del Metcalf-Eddy:

$(20^{\circ}\text{C})(40 \text{ días})=800^{\circ}\text{C} \text{ días}$ ; se tendrá una reducción del 42% de los SVT

Vamos a calcular la concentración de los SST

$M_{\text{total}}=Q_{\text{total}} X_{\text{total}}$ , donde:

$M_{\text{total}}$ =Flujo másico de los lodos a digerir, kg/día

$Q_{\text{total}}$ =Caudal de los lodos a digerir,  $\text{m}^3/\text{día}$

$X_{\text{total}}$ =Concentración de los SST,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$X_{\text{total}}=M_{\text{total}}/Q_{\text{total}}$

$M_{\text{total}}=Q_{\text{purga lodos sed. sec.}} + X_{\text{lodos sed. sec.}} + Q_{\text{purga lodos sed. prim.}} \cdot X_{\text{lodos sed. prim.}}$

$M_{\text{total}}= (3,888 \text{ m}^3/\text{día}) (12,500 \text{ mg/L}) + (1,300 \text{ m}^3/\text{día}) (2,750 \text{ mg/L})$

$M_{\text{total}}= (3,888 \text{ m}^3/\text{día}) (12.5 \text{ kg}/\text{m}^3) + (1300 \text{ m}^3/\text{día}) (2.750 \text{ kg}/\text{m}^3)$

$M_{\text{total}}=48,600 \text{ kg}/\text{día} + 3,575 \text{ kg}/\text{día}=52,175 \text{ kg}/\text{día}=5,217 \text{ ton}/\text{día}$

$X_{\text{total}}= (5,217 \text{ kg}/\text{día})/ (5,188 \text{ m}^3/\text{día})=10.05 \text{ kg}/\text{m}^3$

$(10.05 \text{ kg}/\text{m}^3) (1,000 \text{ g}/\text{kg}) (1,000 \text{ mg}/\text{g}) (1 \text{ m}^3/1000 \text{ L})=10057 \text{ mg}/\text{L}$

$X_{\text{total}}=10,057 \text{ mg}/\text{L}$

### III.6.3 VOLUMEN DEL DIGESTOR

$V=QT$

$V=5,288 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 40 \text{ día}$

$V= 207,520 \text{ m}^3$



### III.6.4 TRATAMIENTO DE LODOS

Gasto de sedimentadores primarios=1300 m<sup>3</sup>/día

Gasto de sedimentadores secundarios=45 LPS

(45 L/seg) (60 seg/min) (60 min/hr) (24 hr/día) (1 m<sup>3</sup>/1,000 L)=3888 m<sup>3</sup>/día

Gasto de lodos=3,888 m<sup>3</sup>/día + 1,300 m<sup>3</sup>/día=5,188 m<sup>3</sup>/día

#### III.6.4.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema de tratamiento propuesto se representa mediante la figura III.6.4.1.1

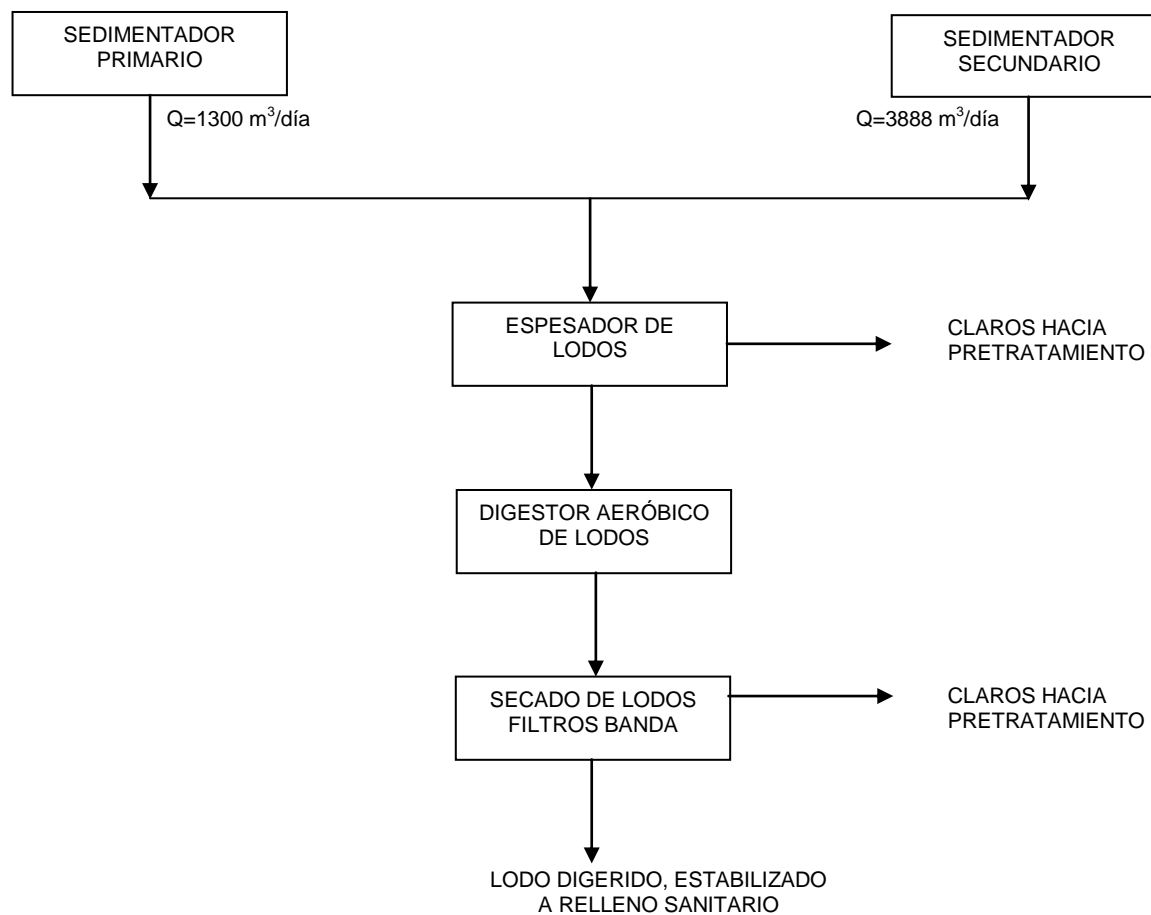


Figura III.6.4.1.1 Diagrama de bloques del sistema de tratamiento propuesto



### III.6.5 DISEÑO DEL ESPESADOR

<sup>1</sup> Tomando como dato del WASTE WATER ENGINEERING TREATMENT AND REUSE (Metcalf-Eddy), página 1493, se obtiene:

**Tabla III.6.5.1 Gravedad específica y porcentaje de sólidos para lodos primarios y secundarios**

TIPO DE LODO	GRAVEDAD ESPECÍFICA	% SÓLIDOS	FLUJO (m <sup>3</sup> /día)
LODO PRIMARIO	1.03	3.3	1,300
LODO SECUNDARIO	1.005	0.2	3,888

#### III.6.5.1 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE SÓLIDOS/DÍA

##### III.6.5.1.1 SEDIMENTADORES PRIMARIOS

$$(1,300 \text{ m}^3/\text{día}) (1.03) (0.033 \text{ g/g}) (10^3 \text{ kg/m}^3) = 44,187 \text{ kg/día}$$

##### III.6.5.1.2 SEDIMENTADORES SECUNDARIOS

$$(3,888 \text{ m}^3/\text{día}) (1.005) (0.002 \text{ g/g}) (10^3 \text{ kg/m}^3) = 7,815 \text{ kg/día}$$

$$\text{Masa total de sólidos} = 44,187 \text{ kg/día} + 7,815 \text{ kg/día} = 52,002 \text{ kg/día}$$

$$\text{Flujo total de lodo} = 1,300 \text{ m}^3/\text{día} + 3,888 \text{ m}^3/\text{día} = 5,188 \text{ m}^3/\text{día}$$

Vamos a calcular la concentración de sólidos combinados asumiendo que la gravedad específica combinada del lodo es 1.02

$$\% \text{ Sólidos} = 52,002 \text{ kg/día} / [(5,188 \text{ m}^3/\text{día}) (1.02) (10^3 \text{ kg/m}^3)] 100 = 0.98\%$$

<sup>1</sup> Tomando como dato del WASTE WATER ENGINEERING TREATMENT AND REUSE (Metcalf-Eddy), página 1492, se obtiene de la tabla 14-19 la carga superficial de 50 kg/m<sup>2</sup>día, vamos a calcular el área del espesador:

$$A = \text{Carga de sólidos} / \text{CS Lodos} = (52,002 \text{ kg/día}) / (50 \text{ kg/m}^2\text{día}) = 1,040 \text{ m}^2$$

Carga hidráulica del espesador

$$CH = Q/A = (5,188 \text{ m}^3/\text{día}) / (1,040 \text{ m}^2) = 4.98 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

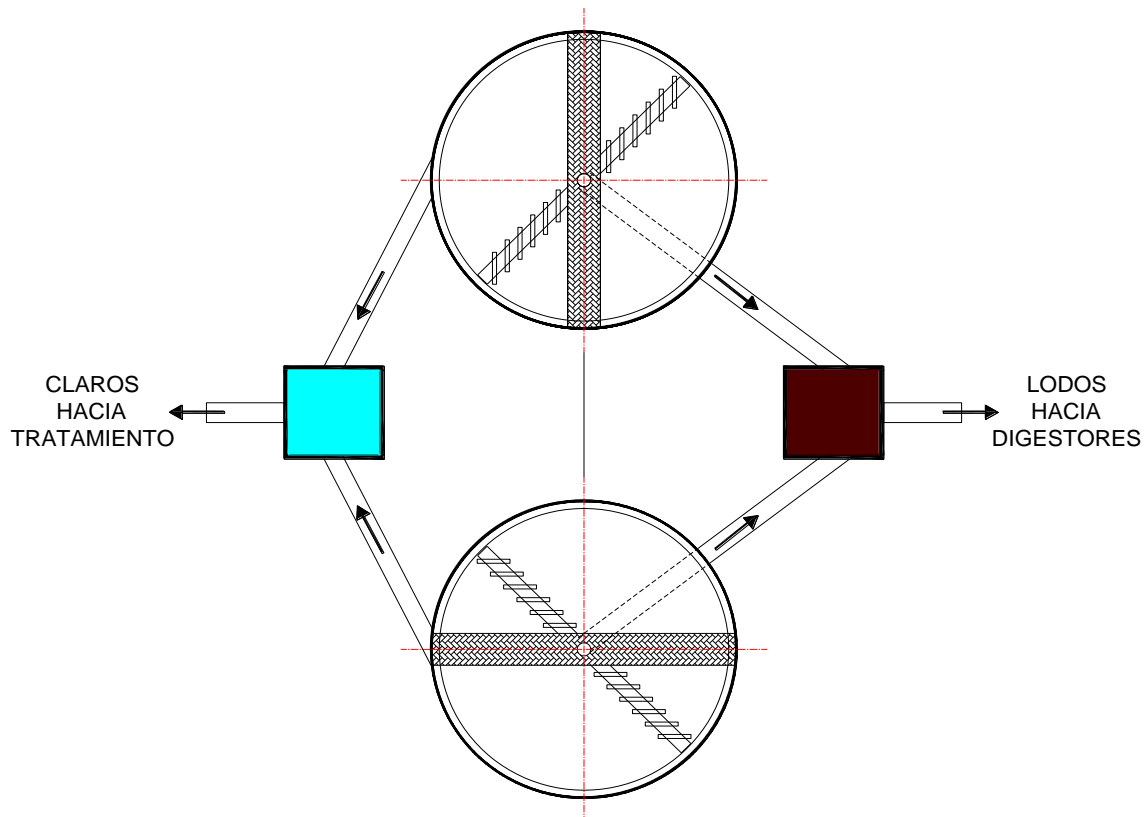
Diámetro del espesador, tomando como base dos espesadores:

$$D = (4 A / 2\pi)^{1/2} = [(4) (1,040 \text{ m}^2) / 2\pi]^{1/2} = 25.73 \text{ m}$$

Diámetro=26 m

Altura=3.5 m

En la figura III.6.5.1 se representa esquemáticamente el espesador:



**Figura III.6.5.1 Representación esquemática del espesador**





### III.6.5.2 CÁLCULO DEL DIGESTOR AERÓBICO

<sup>1</sup> Tomando datos del WASTE WATER ENGINEERING TREATMENT AND REUSE (Metcalf-Eddy), tabla 14-34, página 1536, se obtiene lo siguiente:

**Tabla III.6.5.2.1 Criterios de diseño para digestores aeróbicos**

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Tiempo de residencia lodos (SRT)		
A 20°C	Día	40
A 15°C	Día	60
Carga sólidos volátiles	kg/m <sup>3</sup> día	1.6-4.8
Requerimiento de oxígeno	kg O <sub>2</sub> /kg SSV	1.6-2.3
Energía requerida		
Aireación mecánica	kw/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	20-40
Aireación por difusión	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> min	0.020-0.040
Oxígeno residual	mg/L	1-2
Reducción de SSV	%	38-50

Para el cálculo del volumen del tanque del digestor es necesaria la reducción de los SSV, por lo que se recomienda un TRL de 10 a 20 días, pero si se quiere tener una disminución de los patógenos se requiere de 40 a 60 días.

Para fines de diseño vamos a tomar 15 días de tiempo de residencia y una temperatura de 20°C.

$$(15 \text{ días}) (20^\circ\text{C})=300 \text{ días}^\circ\text{C}$$

<sup>1</sup> Con este valor vamos a la figura 14-31, página 1537, del WASTE WATER ENGINEERING TREATMENT AND REUSE (Metcalf-Eddy) y se tiene una reducción del 35% de los SSV.

$$V=Q_i (X_i + YS_i)/X (K_dP_v + 1/SRT)$$

V=Volumen del digestor, m<sup>3</sup>

Q<sub>i</sub>=Gasto influente, m<sup>3</sup>/día

X<sub>i</sub>=Concentración de sólidos suspendidos, mg/L

Y=Fracción DBO influente de los sólidos primarios expresada en decimales

S<sub>i</sub>=DBO influente, mg/L

X=Concentración de sólidos suspendidos en digestor, mg/L

K<sub>d</sub>=Constante de biocinética rango reacción



Pv=Fracción de SS en digestor expresada en decimales  
SRT=Tiempo de residencia sólidos

Datos de diseño

Dos digestores

- a)  $Q=5,188 \text{ m}^3/\text{día}/2=2,594 \text{ m}^3=2,600 \text{ m}^3/\text{día}$
- b) Temperatura del agua= $15^\circ\text{C}$  invierno,  $25^\circ\text{C}$  verano
- c) El sistema tendrá un 35% de reducción de SSV en verano
- d) El mínimo de SRT es de 15 días
- e) Se concentrará el lodo hasta un 3% en un filtro banda
- f) La gravedad específica del lodo es de 1.03
- g)  $K_d=0.06 \text{ día}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$
- h) La fracción volátil en el digestor (SST) es de 0.80
- i) Se usará aire por difusión para el mezclado
- j) La temperatura del aire es  $20^\circ\text{C}$

Para condiciones de invierno:

$(15^\circ\text{C}) (15 \text{ días})=225$ ; Figura 14-31= $25\%$  RSV en digestor

$(25^\circ\text{C}) (15 \text{ días})=375$ ; Figura 14-31= $37.5\%$  RSV en digestor

Para la reducción de patógenos el SRT=15 días.

$(2,600 \text{ m}^3/\text{día}) (15 \text{ días})=39,000 \text{ m}^3$

Vamos a calcular la reducción de SV en verano e invierno basados en el total de masa de los SSV:

Total masa SSV=  $(0.8) (52,000 \text{ kg}/\text{día})/2 \text{ digestores}=20,801 \text{ kg}/\text{día}/\text{digestor}$

Verano=  $(20,801 \text{ kg}/\text{día}) (0.375)=7,800 \text{ kg SSV red}/\text{día}$

Invierno=  $(20,801 \text{ kg}/\text{día}) (0.25)=5,200 \text{ kg SSV red}/\text{día}$

Vamos a calcular el volumen de aire requerido por día a condiciones estándar:

Verano= $7,800 \text{ kg}/(1.204 \text{ kg}/\text{m}^3) (0.232)=27,927 \text{ m}^3/\text{día}$



Invierno=5,200 kg/ (1.204 kg/m<sup>3</sup>) (0.232)=18,618 m<sup>3</sup>/día

Asumiendo que las membranas transfieren el 10% del oxígeno del aire:

Verano=27,927 m<sup>3</sup>/día/(0.1) (1,440 min/día)=194 m<sup>3</sup>/min

Invierno=18,618 m<sup>3</sup>/día/(0.1) (1,440 min/día)=130 m<sup>3</sup>/min

Calcular el volumen de lodo a disponer por día:

V=52,002 kg/día/ (10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>) (1.03) (0.03)=1,683 m<sup>3</sup>/día, para dos digestores

Calcular el volumen del digestor:

V= (1,683 m<sup>3</sup>/día) (280 mg/L + (0.07) (30 mg/L)/ (15,000) (0.7) (0.006) (0.8 + 1/15)=315 m<sup>3</sup>

Vamos a diseñar los digestores para un volumen de 500 m<sup>3</sup>:

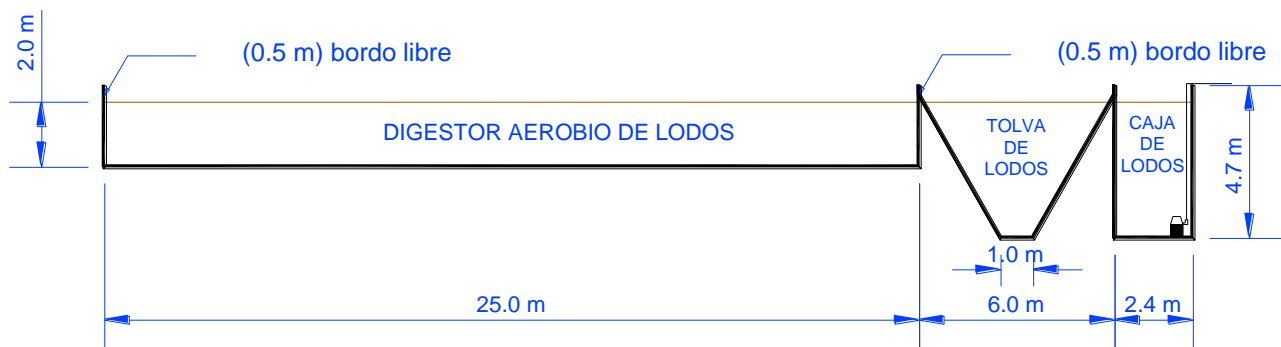
Longitud: 25 m

Ancho: 10 m

Profundidad: 2 m

Las representaciones esquemáticas del tratamiento propuesto se muestran a continuación:

En la figura III.6.5.2.1 se observa en perfil del digestor aerobio de lodos:



### VISTA EN PERFIL

**Figura III.6.5.2.1 Vista en perfil del digestor aerobio de lodos**

La figura III.6.5.2.2 muestra la vista en planta del digestor aerobio de lodos:

### VISTA EN PLANTA

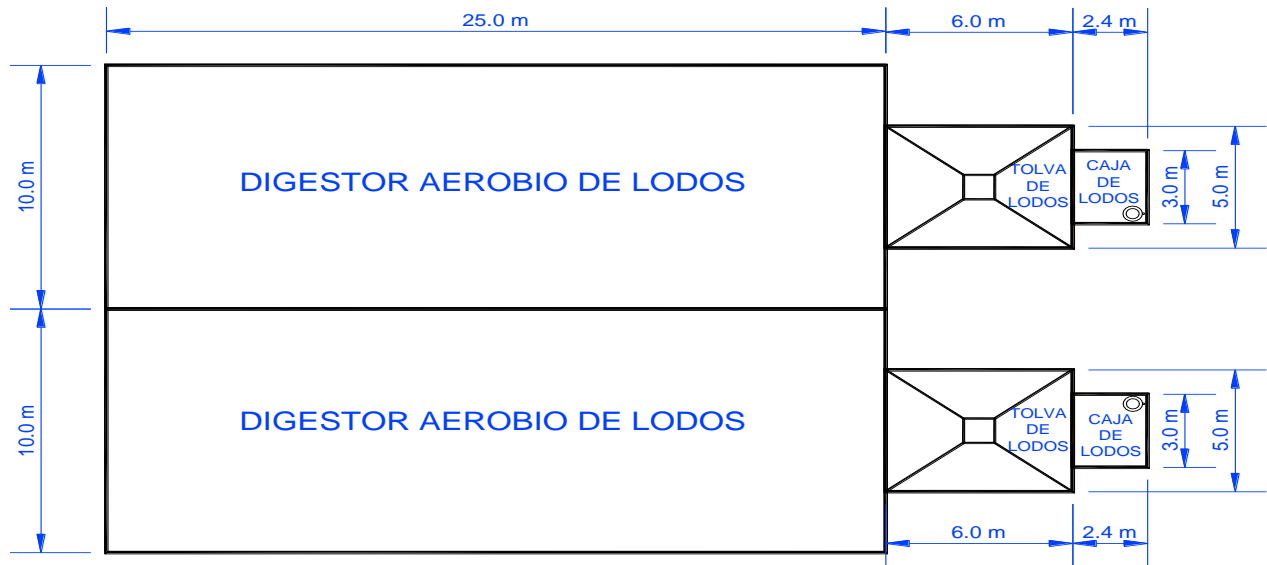


Figura III.6.5.2.2 Vista en planta del digestor aerobio de lodos

En la figura III.6.5.2.3 se representa el espesador circular y el digestor aerobio de lodos:

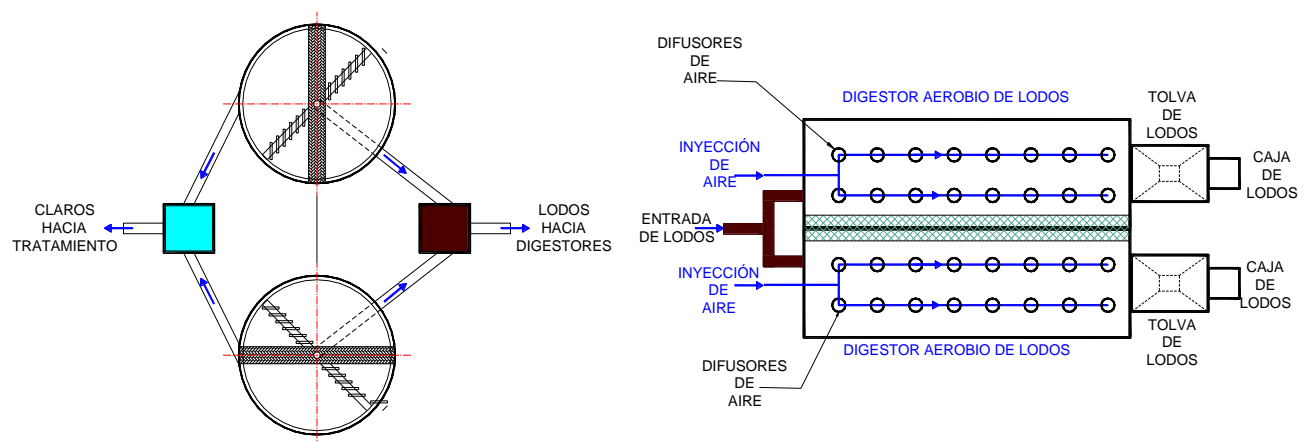
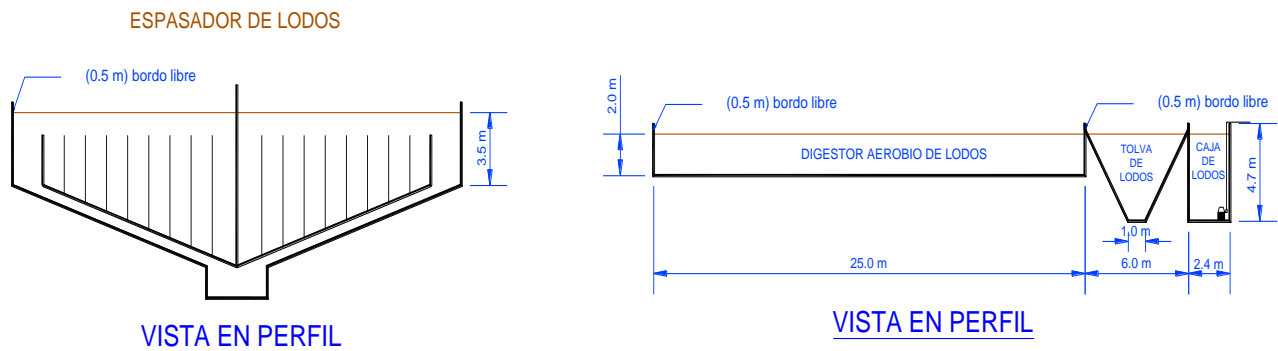


Figura III.6.5.2.3 Espesador circular y el digestor aerobio de lodos

La figura III.6.5.2.4 muestra una vista en perfil del espesador y el digester aerobio de lodos:



**Figura III.6.5.2.4 Vista en perfil del espesador y el digester aerobio de lodos**

## IV FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL TRATAMIENTO DE LODOS

### IV.1 TRATAMIENTO DE LODOS

<sup>6</sup> Los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas son principalmente los siguientes:

- Lodo primario proveniente de la sedimentación del agua residual.
- Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico del agua residual.
- Lodo digerido proveniente de los anteriores, separados o mezclados.
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación de aguas y aguas residuales.
- Lodos provenientes de plantas de ablandamiento.
- Lodos provenientes de desarenadores y rejillas.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1 a 6%); por ello la disposición de su contenido de sólidos requiere del manejo de un gran volumen de lodo. El problema principal en el tratamiento de lodos radica, por tanto, en concentrar los sólidos mediante la máxima remoción posible de agua y en reducir su contenido orgánico. Los lodos provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia



orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda.

## IV.2 DIGESTIÓN DE LODOS

### IV.2.1 DIGESTIÓN ANAERÓBICA

#### FUNDAMENTOS DEL PROCESO

<sup>3</sup> Ocurren tres tipos de reacciones químicas y bioquímicas en la digestión anaeróbica y son hidrólisis, fermentación, también llamada ácido génesis (formación de compuestos orgánicos solubles y ácidos orgánicos de cadena corta), metano génesis (conversión bacteriológica de ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono). Los factores medioambientales importantes en la digestión anaeróbica son (1) tiempo de retención de los sólidos, (2) tiempo de retención hidráulico, (3) temperatura, (4) alcalinidad, (5) pH, (6) presencia de sustancias inhibidoras, por ejemplo materiales tóxicos y (7) bioviabilidad de nutrientes y trazas de metales.

La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo. La digestión anaeróbica se usa principalmente para estabilizar lodos primarios y secundarios. El lodo primario es un lodo digerible con fuerte olor fecal. La reducción de sólidos volátiles es el criterio usado para medir el rendimiento de los procesos de digestión de lodos. El proceso convencional de digestión anaeróbica se efectúa en dos etapas: la primera, con calentamiento y mezcla, produce la mayor cantidad de gas, la segunda es una etapa de asentamiento usado para el almacenamiento, espesamiento del lodo digerido y la formación de un sobrenadante claro. El sobrenadante, rico en material orgánico soluble (DBO hasta en 10,000 ppm), se recircula para tratamiento aeróbico en la planta y el lodo digerido es extraído para secado y disposición final.

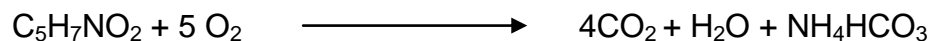
La digestión anaeróbica involucra la descomposición de materia orgánica e inorgánica (principalmente sulfato) en ausencia de oxígeno molecular. Debido al énfasis en la conservación y recuperación de energía y la posibilidad de obtener usos benéficos de los biosólidos generados de las aguas residuales, la digestión anaeróbica sigue siendo la más importante en los procesos para la estabilización de lodos. Además, la digestión anaeróbica de los lodos de aguas residuales puede, en muchos casos, producir suficiente gas para satisfacer la mayor parte de las necesidades de energía para la operación de la planta.



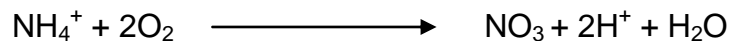
## IV.2.2 DIGESTIÓN AEROBIA

<sup>3</sup> La digestión aeróbica es similar al proceso de lodos activados. Debido a que el suministro de sustrato disponible (alimento) es reducido, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener la energía necesaria para las reacciones celulares. Cuando la energía es obtenida de las células se dice que los microorganismos están en la fase endógena. El tejido de la célula es oxidado aeróbicamente a dióxido de carbono, agua y amoníaco. En la actualidad, solo aproximadamente del 75 al 80% del tejido celular puede ser oxidado; el resto de 20 a 25% está integrado por componentes inertes y compuestos orgánicos que no son biodegradables. El amoníaco es subsecuentemente oxidado a nitrato. Los sólidos suspendidos volátiles no biodegradables permanecerán en el producto final de la digestión aeróbica. Considerando la biomasa desechada a un digestor y que la fórmula  $C_5H_7NO_2$  es representativa de la masa celular de un microorganismo, los cambios bioquímicos en un digestor aeróbico pueden ser descritos por las siguientes ecuaciones:

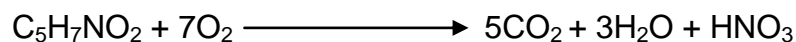
Dstrucción de la biomasa:



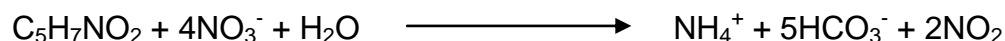
Nitrificación de:



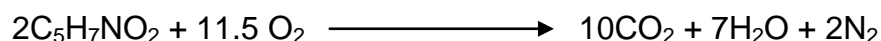
Nitrificación completa:



Desnitrificación:



Con nitrificación/Desnitrificación completa:



La conversión de nitrógeno orgánico a nitrato da como resultado un incremento en la concentración de iones hidrógeno y consecuentemente un decremento en el pH si no es adecuada la capacidad de amortiguación en el lodo. Aproximadamente 7 kg de alcalinidad, expresada como  $CaCO_3$ , son destruidos por cada kg de amoníaco oxidado. Teóricamente, aproximadamente el 50% de la alcalinidad consumida por la nitrificación puede ser recuperada por la desnitrificación. Si el oxígeno disuelto es mantenido en valores bajos (menos de 1 mg/L), entonces, la nitrificación no ocurrirá. En situaciones donde la capacidad de amortiguación es insuficiente resultando en decrementos de pH en valores



inferiores a 5.5, puede ser necesario instalar equipo de alimentación de alcalinidad para mantener el pH deseado.

Cuando el lodo activado es mezclado con el lodo primario y la combinación va a ser digerida aeróbicamente, la oxidación directa de la materia orgánica en el lodo primario y la oxidación del tejido celular ocurren ambas. Los digestores aeróbicos pueden ser operados como reactores por lote o reactores de flujo continuo.

Existen tres variaciones del proceso que son más comúnmente usadas: (1) digestión aeróbica convencional, (2) digestión aeróbica con oxígeno de alta pureza y (3) digestión aeróbica auto térmica. La digestión aeróbica realizada con aire es el proceso más comúnmente usado, depende de factores como la temperatura, reducción de sólidos, volumen del tanque, concentración de sólidos en la alimentación, requerimientos de oxígeno, requerimientos de energía para mezclado y operación del proceso.

### **IV.3 ESPESAMIENTO DE LODOS**

<sup>5</sup> El espesamiento es un procedimiento usado para incrementar el contenido de sólidos del lodo mediante la remoción de una porción de la fracción del líquido. El espesamiento es generalmente realizado por medios físicos, incluyendo co-sedimentación, sedimentación por gravedad, flotación, centrifugación, cinturón de gravedad y tambor rotatorio. Es importante que los espesadores provean capacidad adecuada para cubrir las demandas pico y prevenir la septicidad, con sus consecuentes problemas de olores durante el proceso de espesamiento.

#### **IV.3.1 ESPESAMIENTO CO-SEDIMENTACIÓN**

<sup>6</sup> Los clarificadores primarios a veces son usados para espesar sólidos del proceso aguas abajo. Para espesar sólidos, debe crearse un recipiente de lodos para concentrar los sólidos sin permitir que el agua clarificada sea empujada. Algunas veces los tiempos de retención de los sólidos de 12 a 24 horas o más son mantenidos en clarificadores para lograr niveles de concentración de sólidos espesados en el clarificador flujo abajo. La retención excesiva de los sólidos en el clarificador puede causar condiciones sépticas y gasificación, y reduce los niveles de remoción de sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno.

El espesamiento exitoso de los sólidos en clarificadores primarios se ha logrado por una combinación de lo siguiente: (1) usando un clarificador en un banco de clarificadores para espesamiento por co-sedimentación; diluir sólidos de bajo flujo (menos de 1% de sólidos)





de los otros clarificadores es descargado al clarificador de espesamiento, (2) mantener el inventario de sólidos por 6 a 12 horas y (3) proveer la adición de coagulantes químicos tales como polímeros y cloruro férrico para favorecer la precipitación de los sólidos. La necesidad de adicionar químicos depende de las velocidades de sobre flujo del clarificador.

### **IV.3.2 ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD**

El espesamiento por gravedad es uno de los métodos más comunes usados y es realizado en un tanque similar en diseño a un tanque de sedimentación convencional. El lodo alimentado se sedimenta y se compacta, el lodo espesado es colectado en el fondo cónico del tanque.

### **IV.4 SECADO DE LODOS**

<sup>8</sup> Varias técnicas son usadas en la deshidratación de los lodos para remover la humedad. Algunas de estas técnicas dependen de la evaporación natural y la filtración para eliminar el agua de los sólidos. En los arreglos mecánicos son empleados los medios físicos para secar el lodo más rápidamente. Los medios físicos incluyen filtración, compresión, acción capilar y separación y compactación centrífuga.

El objetivo principal de la deshidratación es eliminar tanta agua del lodo como sea posible para producir un material no fluido, cuya concentración de sólidos sea significativamente más alta que un lodo espesado.

En los procesos de deshidratación se alcanza un grado de humedad parecido a la que se logra con los procesos de espesamiento y secado.

La deshidratación de los lodos se hace con la finalidad de adecuarlo para su disposición final como relleno sanitario, reducir los costos de transporte y aumentar su potencial calorífico.

El secado de los lodos también involucra la aplicación de calor para evaporar el agua y reducir el contenido de biosólidos de la mezcla por debajo de lo que pudiera lograrse mediante los métodos convencionales de deshidratación.

Las ventajas del secado con calor incluyen la reducción de los costos de transportación del producto, mayor reducción del contenido de patógenos y mejora en la disponibilidad de almacenamiento.



## IV.5 DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS

Debido a que los lodos generados han sido secados y se han considerado como residuos no peligrosos según el análisis CRETIB realizado, se concluye que podrán ser enviados a relleno sanitario local.



## CONCLUSIONES

La alternativa más económica en la línea de agua, es rehabilitar sólo el sistema de difusión de aire del reactor.

Del análisis de costos, se concluye que el proceso más favorable para el tratamiento de los lodos es el compuesto por espesamiento, digestión y deshidratación.

Actualmente se está incumpliendo con lo estipulado en el artículo 86 bis 2 de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), ya que estos son vertidos al mismo cuerpo receptor sin tratamiento, esto es motivo de sanción y representa un obstáculo para obtener el permiso o concesión que se requiera solicitar a la Comisión Nacional del Agua y sanciones o hasta suspensión por parte de la PROFEPA.

Para reducir el costo unitario de la planta, se requiere que ésta opere con el caudal para la cual fue diseñada y se cumpla con la operación básica de la misma.

En caso de que se complemente el influente de la planta con la descarga de algunas industrias, hay que considerar la calidad de dichas aguas, ya que pueden existir contaminantes que dañen la funcionalidad del reactor, o el riesgo de no obtener el efluente con la calidad requerida para el reuso del mismo.

Es conveniente considerar que la planta tiene 48 años en operación y que probablemente su vida útil en pocos años llegará a su límite, por lo que es conveniente pensar en reemplazos con tecnología de bajo costo de operación, mantenimiento y mayor eficiencia en remoción de contaminantes.



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **1. Wastewater Engineering Treatment and Reuse**

Leonard Metcalf and Harrison P. Eddy  
Fourth edition  
Mc Graw Hill

### **2. Water Reuse: Issues, Technologies and Applications**

Leonard Metcalf and Harrison P. Eddy  
Mc Graw Hill

### **3. Biological Wastewater Treatment**

C.P. Leslie Grady, Jr., Glen T. Daigger, Henry C. Lim.  
Second edition  
Marcel Dekker, Inc.

### **4. Handbook of water and wastewater treatment technology**

Paul N. Cheremisinoff  
Editorial Marcel Dekker

### **5. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño**

Jairo Alberto Romero Rojas  
Tercera edición  
Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

### **6. Tratamiento de aguas residuales**

Rubens S. Ramalho  
Segunda edición  
Editorial Reverté

### **7. Química del agua**

David Jenkins  
Universidad de California, Berkeley  
Editorial LIMUSA



## **8. Fundamentos de control de la calidad del agua**

T.H.Y. Tebbutt

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Birmingham  
Editorial LIMUSA

## **9. Apuntes de tratamiento de aguas residuales**

Facultad de Ingeniería, UNAM.

## **10. Manual de tratamiento de aguas residuales**

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York  
Editorial LIMUSA

## **11. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones**

Nalco Chemical Company

Frank N. Kemmer, John McCallion

Editorial McGraw-Hill

## **12. Alcantarillado y tratamiento de aguas residuales**

Harold E. Babbitt, E. Robert Baumann

Editorial Continental

## **13. Sewage treatment**

Karl Imhoff, Gordon Maskew Fair

Second edition

Editorial John Wiley and Sons

## **14. Water and wastewater calculations manual**

Second Edition

Shun Dar Lin

Editorial McGraw-Hill

## **15. Acondicionamiento de aguas para la industria**

Sheppard T. Powell

Editorial LIMUSA



---

## **16. Tratamiento de agua para la industria y otros usos**

Eskel Nordell  
Editorial Continental

## **17. Análisis microbiológico de aguas**

Jesús Guinea, José Sancho, Ramón Parés  
Editorial Omega

## **18. Manual de aguas**

American Society for testing and Materials  
Editorial LIMUSA

## **19. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales**

Gordon Maskew Fair, John Charles Geyer, Daniel Alexander Okun  
Editorial LIMUSA

## **20. Water technology**

N. F. Gray  
Editorial Arnold

## **21. Química Orgánica**

Morrison and Boyd  
Editorial McGraw-Hill

## **22. Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química**

J. M. Smith, H. C. Van Ness  
Cuarta edición  
Editorial McGraw-Hill

## **23. Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales**

Central Termoeléctrica Valle de México  
Comisión Federal de Electricidad



## **24. Tratamiento del agua de enfriamiento y control de problemas inherentes**

Central Escuela Celaya  
Comisión Federal de Electricidad

## **25. Tratamiento de aguas negras**

Central Escuela Celaya  
Comisión Federal de Electricidad

## **26. Tratamiento químico interno y control de problemas inherentes**

Central Escuela Celaya  
Comisión Federal de Electricidad

### **PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS:**

- 1. [www.economia-noms.gob.mx](http://www.economia-noms.gob.mx)**
- 2. [www.dgn.gob.mx](http://www.dgn.gob.mx)**
- 3. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)**
- 4. [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)**



## VII ANEXOS









### **ANEXO III**

## **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002 ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL**