

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR  
ORREGO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI  
Y CORTIJO ANTE PARAMETROS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS-  
MEXICO”**

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SANEAMIENTO**

**AUTORES:** Br. ESPEJO YUPANQUI MELSAR EDUARDO  
Br. LEON BUENO LUIS GUILLERMO

**ASESOR:** Ing. VERTIZ MALABRIGO MANUEL ALBERTO

**TRUJILLO - PERÚ**

**2017**

# ACREDITACIONES

TÍTULO:

“ANALISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI Y CORTIJO ANTE PARAMETROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS-MEXICO”

AUTOR (ES):

Br. ESPEJO YUPANQUI MELSAR EDUARDO

Br. LEON BUENO LUIS GUILLERMO

APROBADO POR:

---

Ms. Ricardo Andrés, Narváez Aranda  
PRESIDENTE  
N° CIP 58776

---

Ing. Juan Pablo García Rivera  
SECRETARIO  
N° CIP 68614

---

Ing. Rolando Ochoa Cevallos  
VOCAL  
N° CIP 9133

---

Ing. Manuel Alberto, Vertiz Malabrigo  
ASESOR  
N° CIP 71188

# **PRESENTACIÓN**

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “ANALISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI Y CORTIJO ANTE PARAMETROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS-MEXICO”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Trujillo, 21 de septiembre de 2017.

# DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo aquellas personas que nos enseñaron que la mejor libertad del ser humano está en la superación personal e intelectual, una de éstas personas es mi Madre que me enseñó a valorar el esfuerzo de mi Padre, profesores y hermanos (Clever y Brayán) que con la ayuda e iluminación de Dios, nos dieron su apoyo a diario para culminar con éxito y responsabilidad el presente trabajo.

Espejo Yupanqui Melsar Eduardo.

Primeramente agradecer a Dios por darme salud y siempre guiarme por un buen camino.

A mis padres y hermano que son mi motivación para seguir cumpliendo mis metas.

A mis abuelos y demás familia por brindarme su apoyo incondicional.

Luis Leon Bueno.

# **AGRADECIMIENTOS**

Especial reconocimiento y gratitud a nuestro asesor: Ing. Manuel Alberto Vertiz Malabrigo, por su acertado apoyo y oportuno asesoramiento para el desarrollo de la presente tesis.

Especial gratitud a mis profesores por los conocimientos y experiencias compartidas. Mi familia por el aliento incondicional. A mis padres y hermanos por el apoyo en los momentos más difíciles.

## **RESUMEN**

El presente trabajo surge de la necesidad de dar solución a los problemas existentes en el sistema de tratamiento de aguas residuales, que actualmente está afectando a la ciudad de Trujillo-La Libertad, que debido al crecimiento de la población y a la antigüedad de los sistemas de tratamientos de aguas residuales de Covicorti y Cortijo, genera un abastecimiento menor para lo que necesita la población actual y futura, que incluso se ve condicionada su situación sanitaria en un futuro no muy lejano. Es así como se prevé mediante el análisis comparativo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de Covicorti y el Cortijo con la Planta de Tratamiento de Nuevo Laredo, Tamaulipas-Mexico; para llegar a una conclusión, comparando los parámetros de diseño, la tecnología, rendimiento y mantenimiento; con un propósito de aportar un estudio al mejoramiento de las Plantas de Tratamiento de la ciudad de Trujillo.

Como primer análisis se comparo los parámetros de diseño de los países de Perú y Mexico que utilizan para las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Posteriormente analizamos y comparamos la tecnología, rendimiento y el plan de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Covicorti y el Cortijo con la planta de tratamiento de Nuevo Laredo. Asi nos dimos cuenta cual de las plantas son mas eficientes y que podemos hacer para mejorar las plantas de tratamiento de la ciudad de Trujillo.

Finalmente se obtuvo las conclusiones del estudio que nos ayuden a mejorar las plantas de tratamiento de Covicorti y Cortijo para el beneficio de la ciudad de Trujillo y las aguas residuales mejor tratadas.

## **ABSTRACT**

The present work arises from the need to solve the existing problems in the wastewater treatment system, which is currently affecting the city of Trujillo-La Libertad, which due to the population growth and the age of the systems of Covicorti and Cortijo wastewater treatment, generates a smaller supply for what the current and future population needs, which is even conditioned its health situation in the not too distant future. Thus, it is foreseen by the comparative analysis of the wastewater treatment systems of Covicorti and the Cortijo with the Treatment Plant of Nuevo Laredo, Tamaulipas-Mexico; to arrive at a conclusion, comparing the parameters of design, technology, performance and maintenance; with a purpose to contribute a study to the improvement of the Plants of Treatment of the city of Trujillo.

As a first analysis, we compared the design parameters of the countries of Peru and Mexico that they use for wastewater treatment plants.

We then analyze and compare the technology, performance and maintenance plan of Covicorti and Cortijo wastewater treatment plants with the Nuevo Laredo treatment plant. Thus, we realized which of the plants are more effective and that we can do to improve the treatment plants of the city of Trujillo.

Finally, we obtained the conclusions of the study that help us to improve the treatment plants of Covicorti and Cortijo for the benefit of the city of Trujillo and the best treated wastewater.

# ÍNDICE

	<b>Pag.</b>
<b>ACREDITACIONES.....</b>	<b>2</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Delimitación del problema.....	12
1.3. Características y análisis del problema.....	13
1.4. Formulación del problema.....	14
1.5. Formulación de la hipótesis.....	14
1.6. Objetivos del estudio.....	14
1.7. Justificación del estudio.....	15
1.8. Limitaciones del estudio.....	16
<b>2. MARCO TEORICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	16
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	17
2.2. Fundamentación teórica de la investigación.....	19
2.2.1. Importancia del saneamiento.....	19
2.3. Planta de tratamiento de aguas residuales covicorti.....	21
2.3.1. Antecedentes y sistema de tratamiento de covicorti.....	22
2.3.2. Tratamiento del agua residual en lagunas de estabilización.....	27
2.3.2.1. Origen de las aguas residuales.....	27
2.3.2.2. Recolección.....	28
2.3.2.3. Composición de las aguas residuales.....	28
2.3.3. Tecnología aplicada en la planta de tratamiento de aguas residuales de covicorti.....	28
2.3.3.1. Componentes del Sistema de tratamiento.....	28
2.3.3.2. Características de los componentes del sistema de tratamiento.....	29
2.3.3.3. Calidad de los efluentes.....	36
2.3.3.4. Consideraciones constructivas.....	37
2.3.3.5. Características de las lagunas de estabilización.....	37
2.3.4. Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de covicorti.....	40



2.3.4.1.	Importancia de los riesgos.....	40
2.3.4.2.	Registros de operación o funcionamiento.....	41
2.3.4.3.	Registros de mantenimiento.....	41
2.3.4.4.	Registros de personal.....	42
2.3.4.5.	Archivo de la información.....	42
2.3.4.6.	Diseño de programas de muestreo y medición.....	42
2.3.4.7.	Control de procesos.....	43
2.3.5.	Lugares de muestreo.....	43
2.3.6.	Equipos de análisis requeridos.....	44
2.4.	Planta de tratamiento de aguas residuales del cortijo.....	46
2.4.1.	Antecedentes y sistema de tratamiento de cortijo.....	47
2.4.2.	Tecnología de la planta de tratamiento de aguas residuales de cortijo.....	51
2.4.2.1.	Componentes del Sistema de tratamiento.....	51
2.4.2.2.	Características de los componentes del Sistema de tratamiento.....	51
2.4.3.	Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de cortijo.....	57
2.4.3.1.	Importancia de registros.....	58
2.4.3.2.	Registros de operación o funcionamiento.....	58
2.4.3.3.	Registros de mantenimiento.....	58
2.4.3.4.	Registros de personal.....	59
2.4.3.5.	Archivo de información.....	59
2.4.3.6.	Diseño de programas de muestreo y medición.....	59
2.4.3.7.	Control de procesos.....	60
2.4.4.	Lugares de muestreo.....	60
2.4.5.	Equipos de análisis requeridos.....	61
2.5.	Planta internacional de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas.....	63
2.5.1.	Tecnología de la planta internacional de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo.....	70
2.5.1.1.	Pretratamiento.....	70
2.5.1.2.	Tratamiento secundario.....	72
2.5.1.3.	Cloración.....	72
2.5.1.4.	Manejo de lodos.....	73
2.6.	Parámetros de diseño.....	77
2.6.1.	Parámetros de diseño de Perú.....	77
2.6.1.1.	Normas para los estudios de factibilidad.....	78
2.6.1.2.	Normas para los estudios de ingeniería básica.....	83
2.6.1.3.	Disposiciones específicas para diseños definitivos.....	85
	I. Obras de llegada.....	87
	II. Tratamiento preliminar.....	88
	III. Tratamiento primario.....	92
	IV. Tratamiento secundario.....	97

V. Otros tipos de tratamiento.....	123
VI. Tratamiento terciario de aguas residuales.....	131
VII. Tratamiento de lodos.....	132
2.6.2. Parámetros de diseño de México.....	139
2.6.2.1. Principios básicos de tratamiento de aguas residuales.....	139
I. Calidad y normatividad.....	139
II. Análisis del proceso.....	143
III. Criterios para el análisis y selección de alternativas.....	148
2.6.2.2. Operaciones y procesos unitarios de tratamiento.....	151
I. Cribado por medio de rejillas.....	151
II. Desarenado.....	152
III. Regulacion de caudal.....	155
IV. Sedimentación.....	157
V. Infiltración lenta.....	161
2.6.2.3. Biomasa fija.....	165
I. Filtro rociador.....	166
II. Discos Biológicos.....	168
2.6.2.4. Biomasa suspendida.....	171
I. Lodos activados.....	171
II. Zanjas de oxidación.....	174
III. Reactores Biológicos secuenciales.....	176
IV. Sedimentación secundaria.....	184
2.6.2.5. Tratamientos extensivos.....	191
I. Lagunas aireadas.....	192
II. Lagunas facultativas.....	196
III. Lagunas anaerobicas.....	199
2.6.2.6. Desinfección.....	200
I. Cloración.....	201
II. Luz ultraviolet.....	204
III. Ozonación.....	205
2.6.2.7. Estabilización de lodos residuales.....	207
I. Digestión anaerobia.....	209
II. Estabilización aerobia.....	210
III. Estabilización anaerobia.....	215
IV. Estabilización química.....	218
V. Deshidratación mecánica.....	222
VI. Lechos de secado.....	227
VII. Composteo de lodos.....	231
VIII. Disposición de lodos en lagunas.....	235
IX. Disposición de lodos en el suelo.....	238

2.7. Ventajas y desventajas del estudio.....	243
2.7.1. Ventajas.....	243
2.7.2. Desventajas .....	243
2.8. Planta de tratamiento más óptima en la ciudad de Trujillo.....	244
2.9. Definición de términos básicos.....	246
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>247</b>
3.1. Material .....	247
3.1.1. Población.....	247
3.1.2. Muestra.....	247
3.1.3. Unidad de análisis.....	247
3.2. Métodos.....	247
3.2.1. Nivel de investigación.....	247
3.2.2. Diseño de investigación.....	248
3.2.3. Variables de estudio y operacionalización.....	249
3.2.3.1. Variables y definición operacional.....	249
3.2.3.2. Operacionalización.....	249
3.2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	250
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>252</b>
4.1. Datos generales.....	252
4.2. Estado situacional.....	254
4.3. Tecnología.....	255
4.3.1. Tecnología de covicorti.....	255
4.3.2. Tecnología de cortijo.....	256
4.3.3. Tecnología de Nuevo Laredo.....	257
4.4. Límites máximos permisibles.....	259
4.4.1. Covicorti.....	259
4.4.2. Cortijo.....	259
4.4.3. Nuevo Laredo.....	260
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>261</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>263</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>264</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>266</b>

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En el año 1998, SEDALIB SA, aprovechando un financiamiento Alemán, construye las plantas de tratamiento a base de lagunas de estabilización complementada con aireación forzada, denominadas Covicorti y Cortijo de 840 y 220 lps de capacidad respectivamente, las que han atendido alrededor del 50% de las aguas residuales de la ciudad de Trujillo. SEDALIB SA, empresa encargada de administrar los servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Trujillo, elabora su Plan Maestro Optimizado (PMO) en el año 2012, el que es aprobado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú – SUNASS, considerando en el mismo, la realización de los estudios para el tratamiento de las aguas residuales de la población Trujillana.

En el presente estudio, se han analizado diferentes alternativas, destacando las tecnologías de lodos activados y Emisión submarina, recomendando esta última, como la más adecuada para tratar a futuro, las aguas residuales de la ciudad de Trujillo.

Según el GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) en el Perú, las aguas domésticas son vertidas en los ríos sin tratamiento previo, la eliminación no regulada de residuos sólidos y las sustancias de origen agrícola contaminan el agua del subsuelo.

## **1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo de investigación se delimita al estudio comparativo de los parámetros entre las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Cortijo y Covicorti con la Planta de Tratamiento de Nuevo Laredo, Tamaulipas-México.

### **1.3. CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

En la zona de estudio presenta las siguientes características problemáticas:

- Determinar la realidad en la que se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cortijo y Covicorti, Distrito de Trujillo – Trujillo – La Libertad.
- Comparar el funcionamiento, la tecnología y el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cortijo y Covicorti ante la planta de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, México.
- Constatar si las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cortijo y Covicorti cuentan con un plan de mantenimiento para asegurar un mejor funcionamiento.

#### **Análisis de características problemáticas**

- Las plantas de tratamiento fueron creadas para una determinada población en el año 1998, ahora como la población de Trujillo ha ido creciendo no sabemos si la capacidad de las plantas está apto para recibir la cantidad de aguas residuales actuales.
- El funcionamiento, la tecnología y el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cortijo y Covicorti no es el esperado según lo establecido por la norma, por eso analizaremos la planta de tratamiento de Nuevo Laredo-México y realizaremos una comparación para llegar a una conclusión.
- No solo el funcionamiento, la tecnología y el rendimiento de las plantas de tratamiento definen que sea apta o no, también debe contar con un plan de mantenimiento.

## **Definición del problema**

El problema se define en justificar el análisis comparativo de las plantas de tratamiento de Cortijo y Covicorti donde evaluaremos el rendimiento, tecnología, funcionamiento y mantenimiento con la planta de tratamiento de Nuevo Laredo, Tamaulipas-México.

### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera nos servirá el análisis comparativo y en qué grado mejorara el sistema de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cortijo y Covicorti, Distrito de Trujillo – Trujillo – La Libertad?

### **1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

El análisis comparativo entre el sistema de tratamiento de aguas residuales Covicorti y el Cortijo con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nuevo Laredo; Tamaulipas-México , nos permitirá obtener un estudio adecuado para mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales de nuestra localidad.

### **1.6. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **Objetivo general**

- Realizar un análisis comparativo del sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo-México para mejorar el tratamiento de aguas residuales de Covicorti y el Cortijo de la localidad de Trujillo, Distrito de Trujillo – Trujillo – La Libertad.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar y comparar los parámetros de diseño según la norma que usa el País de México con la norma de Perú.



- Determinar la tecnología, su mantenimiento y su rendimiento que usan las plantas de tratamiento de Cortijo y Covicorti y comparar con el sistema de planta de tratamiento de Nuevo Laredo-México.
- Analizar las ventajas y desventajas del estudio.
- Identificar cuál de las plantas de tratamiento en el presente estudio es más óptima para la Ciudad de Trujillo.

## **1.7. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

### **Importancia de la investigación**

La investigación es importante desde el punto de vista académico dado que es la aplicación de los conocimientos y metodologías estudiadas en la universidad para solucionar un problema concreto de tratamiento de aguas residuales.

También es importante desde el punto de vista social dado que el resultado de esta investigación ayuda a solucionar el problema de saneamiento de la zona en estudio.

Es importante porque nos determina mejorar la metodología más recomendable para el sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona de estudio.

Se beneficiará la población ya que en la actualidad las plantas de tratamiento de la localidad de Trujillo no venían cumpliendo con el rendimiento requerido.

### **Viabilidad de la investigación**

La investigación es viable técnicamente dado que del resultado del análisis comparativo de las metodologías estudiadas, se determinará la metodología más recomendable para el tratamiento de aguas residuales de la zona en estudio.



## **1.8. LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

La accesibilidad a la zona de Trujillo es Llana, la principal vía de acceso al lugar es por la carretera asfaltada Panamericana Sur – Panamericana Norte y, todas las viabilidades hacia las plantas de tratamiento de Agua residuales de la Localidad de Trujillo son accesibles.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1. Antecedente Nacionales**

- JAUREGUI (2013) en su línea de investigación titulada “Urbanizaciones disponibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales”, se propuso como objetivo dar un alcance de la situación real del Perú en el Tema de Saneamiento, se plantearán vías para la reutilización del agua y se buscará mediante una estructura de investigación alternativas de solución viable su rentables del Perú.

Llegando a los siguientes resultados: que la situación actual del alcantarillado del Perú y el panorama que se está pensando dejar a las futuras generaciones, es inminente el colapso de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Lima y Provincias. Con este trabajo se buscó no solo solucionar los problemas relacionados al manejo de aguas residuales, si no también generar beneficios al sector económico, político y ambiental.

Su principal aporte no solo tendrá como fondo el uso racional del agua, si no brindar calidad de vida en urbanizaciones sostenible a las personas.

- LOPEZ, HERRERA (2015) en su línea de investigación titulada “Planta de Tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el distrito de La Esperanza, Provincia Trujillo, La Libertad.”, se propuso como objetivos realizar el

diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para riego de parques y jardines, elaborar un estudio de Impacto Ambiental y contribuir con la calidad de vida humana.

Llegando a los siguientes resultados: se realizó un estudio topográfico del distrito de La Esperanza.

Se realizó el diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el riego en el distrito de La Esperanza y se eligió el mejor método de tratamiento de aguas residuales realizando un presupuesto que demanda el gasto de la construcción de la PTAR.

Su principal aporte a la investigación es construir una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que sirva para el riego de los parques y jardines de La Esperanza y también reducir sus descargas contaminantes al mar.

### **2.1.2. Antecedente Internacionales.**

- DIAZ (2013) en su línea de investigación titulada “Causas y soluciones del problema de olores en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” Mexico. Se propuso como objetivos: Describir los procesos físico-químicos y biológicos del tratamiento de las aguas residuales, identificar el impacto ambiental de la planta, tanto en sus instalaciones como en sus alrededores.

Proponer un conjunto de medidas para mantener la calidad ambiental de tal forma que se eviten y/o mitiguen los malos olores en plantas de tratamiento de agua residual.

Llegando a los siguientes resultados: Las causas de la generación, métodos y solución del control de olores generados en plantas de tratamiento de agua residual. Comprendiendo cuáles son los procesos, medidas de prevención y mitigación. Dentro de los procesos de tratamiento físico-químico y biológico tenemos la descripción de cada proceso en los capítulos. Se presentan los

métodos más eficientes y comúnmente aplicados en plantas de tratamiento de agua residual.

Su principal aporte a la investigación: el conocimiento de las fuentes de olores y de las tecnologías existentes para su control es necesario para la operación adecuada de las plantas de tratamiento, con el fin de lograr la aceptación de la comunidad.

- BLANCO (2014) en su línea de investigación titulada “Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los GEI: caso de la PITAR Nuevo Laredo”, Mexico. Se propuso como objetivos: analizar el manejo actual de lodos residuales, identificar las opciones de aprovechamiento que permiten cerrar el CUA, determinar una forma de aprovechamiento viable de los Lodos Residuales que permitan reducir las emisiones del GEI, determinar la eficiencia actual de la Planta de tratamiento y comparar su mejora con la alternativa propuesta de aprovechamiento de Lodos Residuales.

Llegando a los siguientes resultados: Se propone el aprovechamiento de los lodos residuales para la generación de energía, a partir del biogás por medio de la digestión anaerobia. Con la implementación de esta propuesta no solamente se vería mejorado el manejo de los lodos, al disminuir su volumen, sino que disminuirían las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoraría la eficiencia de la planta.

Su principal aporte a la investigación: se vería beneficiado el ciclo urbano del agua de Nuevo Laredo y el ciclo hidrológico del Río Bravo por la reincorporación de los lodos a procesos productivos lo que favorece la sostenibilidad del ciclo urbano del agua en Nuevo Laredo.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.2.1 Importancia del saneamiento**

Según Agüero, (1997, p. 17), “El agua y saneamiento son factores importantes que contribuyen a la mejora de las condiciones de vida de las personas.

En el Perú existen 7.9 millones de pobladores rurales de los cuales 3 millones (38%) no tienen acceso a agua potable y 5.5 millones (70%) no cuentan con saneamiento”, lamentablemente no todos tenemos acceso al agua, y las más afectadas son las poblaciones con menores ingresos, dentro de estas se encuentran las poblaciones rurales.

Esta falta trae consecuencias negativas sobre el ambiente y la salud de las personas y, en los niños y niñas el impacto es tres veces mayor. En el futuro esta situación se agravará.

Agüero, (1997, p. 18), “Para el 2025 se prevé la escasez de agua en 48 países y uno de ellos es el Perú. Recibimos una debilidad histórica de los años 1990 al 2002 por los limitados recursos económicos y el lento aprendizaje de parte de los diferentes gobiernos”, por lo que podemos decir que no se entendió la importancia del tema de agua y saneamiento y no se abordó de manera integral el componente educativo y el fortalecimiento organizacional de los modelos de gestión comunitaria.

Ante esta debilidad histórica, fueron principalmente las ONGs y las entidades de cooperación al desarrollo, las que implementaron proyectos que llenaban estos vacíos y en la práctica hicieron incidencia en las políticas de intervención.

En los últimos 5 años y con el financiamiento del Banco Mundial, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento a través del Programa Nacional de Agua Potable y Saneamiento Rural (PRONASAR), viene implementando masivamente proyectos de agua y saneamiento con

Operadores Regionales. Dentro de sus actividades incorpora los componentes de Infraestructura, Educación Sanitaria, Gestión de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) y fortalecimiento a la unidad técnica municipal (UTM).

En el caso de comunidades rurales que se encuentran aisladas geográficamente, es necesario evaluar alternativas de diseño y analizar costos, tomando en cuenta la condición de difícil acceso.

## 2.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI



Las lagunas aeradas y de estabilización cuando están apropiadamente diseñadas, construidas y operadas, son un sistema adecuado de tratamiento de las aguas residuales que no afecta al medio ambiente ni producen problemas a la comunidad, teniendo una alta capacidad de remoción de la carga orgánica y biológica. Las lagunas de tratamiento bien operadas y mantenidas pueden funcionar satisfactoriamente y sin problemas durante muchos años. Sin embargo, el potencial de máxima utilidad de un sistema de lagunas es obtenido solamente a través de una adecuada operación y mantenimiento, y realizado por operadores debidamente capacitados.

Una buena operación se justifica de muchas formas, acredita al operador y subordinados ante la comunidad, presenta una imagen positiva de la empresa prestadora de servicios y provee tratamiento a un mínimo costo y por largos periodos de tiempo sin gravar la tarifa del servicio.

Por otro lado, una laguna mal operada puede llenarse de maleza, cubrirse de natas y desarrollar malos olores conjuntamente con la proliferación de vectores tales como roedores y mosquitos, suscitando la protesta de la población.

### **2.3.1. Antecedentes y sistema de tratamiento de covicorti**

Trujillo metropolitano está conformado por los distritos de Trujillo, Víctor Larco Herrera, el Porvenir, Florencia de Mora y la Esperanza que en conjunto albergó en 1995 un total de 539,280 habitantes, de los cuales 339,500 disponían de servicio de alcantarillado.

Hasta el año 1997, la ciudad de Trujillo contó con cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales: Valdivia, El Milagro, Covicorti y el Parque Industrial que atendían áreas específicas de la ciudad. Valdivia trató las aguas residuales de la Urbanización Manuel Arévalo, El Milagro, las aguas residuales de la localidad del mismo nombre; Covicorti los de la urbanización Covicorti y El Parque Industrial las aguas residuales de la referida área industrial.

A partir del año 1998, se han sumado dos sistemas de tratamiento de aguas residuales conocidos como Covicorti y El Cortijo que están situados al sur oeste de la ciudad de Trujillo (ver figura 2.1) desapareciendo las antiguas lagunas de Covicorti. Estos dos nuevos sistemas de tratamiento deberán tratar aproximadamente el 80 % del total de los desechos líquidos producidos por la referida ciudad, el restante 20% de aguas residuales seguirá siendo atendido por las lagunas de Valdivia, El Milagro y el Parque Industrial.

El sistema de tratamiento de El Cortijo, trata las aguas residuales producidas por Florencia de Mora y la parte sur de La Esperanza y el sistema de Tratamiento de Covicorti, acondiciona los desechos de El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco Herrera, siendo la estación de tratamiento más grande entre las dos previstas.

La planta de tratamiento de Covicorti tiene capacidad para tratar al año 2012 un caudal promedio anual de 59, 166 m<sup>3</sup>/día (685 l/s) y está compuesta de las siguientes estructuras:

- Cámara de rejas mecánicas
- Estructura de medición
- Estación elevadora de aguas residuales crudas
- Dos lagunas aereadas-facultativas y
- Cuatro lagunas facultativas

Las lagunas aereadas-facultativas cuentan con arreadores helicoidales del tipo inclinado o aspirante y funcionarán de manera que el contenido del oxígeno disuelto en la masa del agua no sea menor a 1.0 mg/l ni mayor a 2.5 mg/l con un promedio de 1.5 mg/l.

Adicionalmente, la planta cuenta con un edificio de servicios compuesto de oficina, laboratorio de control de procesos, vestíbulos, servicios higiénicos y almacén. El suministro de agua potable se efectuará a partir de una cisterna y tanque elevado servido por medio de camión cisterna. El material resultante de la limpieza de las rejas y del desnatado de las lagunas se almacenará en contenedores situados en las proximidades de la cámara de rejas desde donde se dispondrá periódicamente al relleno sanitario.

Las aguas residuales tratadas por las lagunas facultativas serán dispuestas al canal de riego más cercano y los excedentes no empleados en el riego agrícola, se descargarán al emisor existente de 1,300 mm para su disposición final al mar o su reuso en la faja costera.

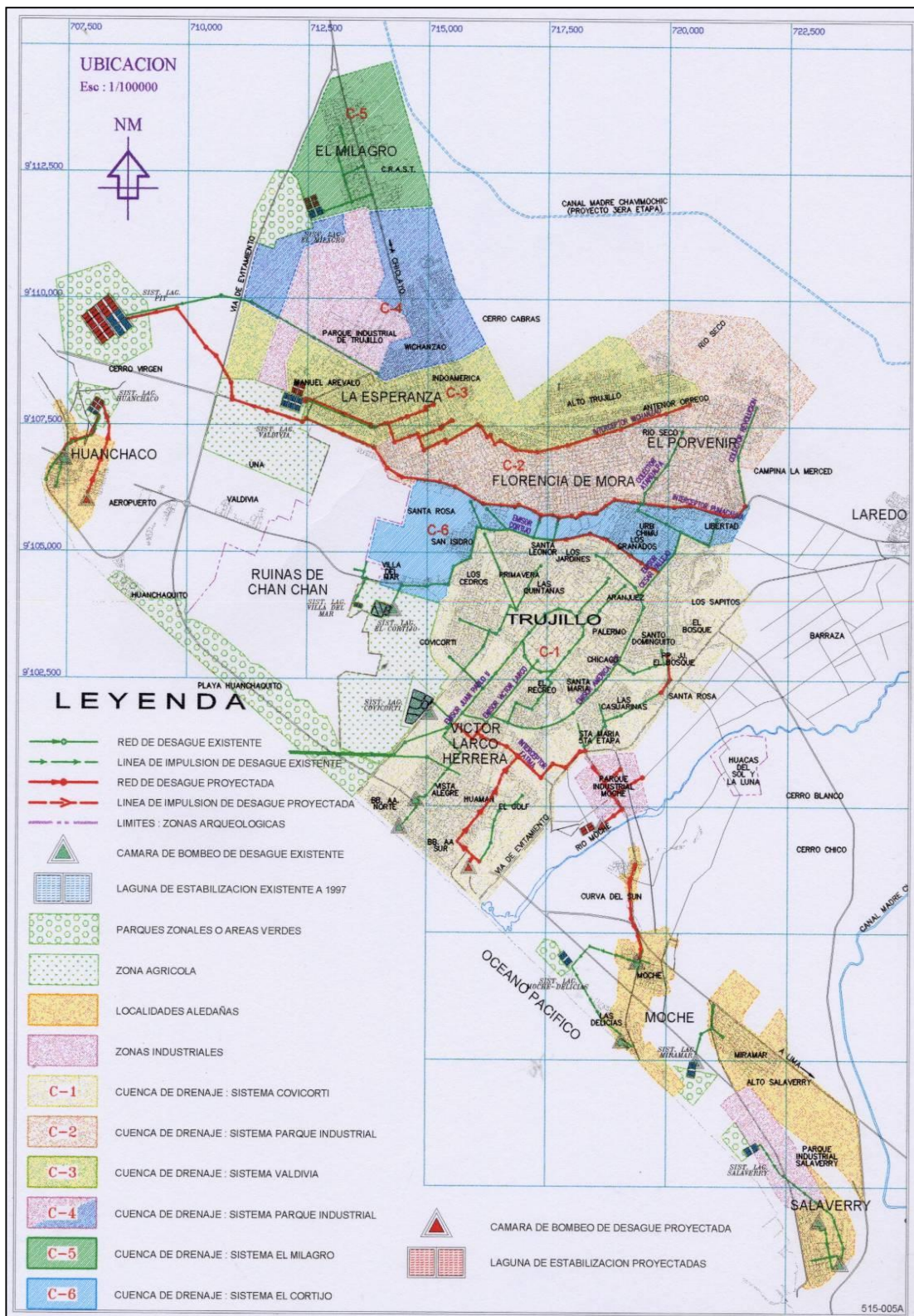
En casos de emergencia, se pondrá derivar las aguas residuales crudas al mar a través del actual emisor de 1,300 mm para lo cual se ha previsto una cámara derivadota que entrará a operar al cerrarse la compuerta ubicada al ingreso de la cámara de rejas.



El complejo se complementa con las instalaciones eléctricas necesarias para el funcionamiento de los equipos de bombeo, aereadores e iluminación, así como con un grupo electrógeno de emergencia. En la Figura 2.2 se muestra la distribución de las lagunas de Covicorti.

A fin de garantizar la continuidad de la calidad bacteriológica de las aguas residuales tratadas y a ser dispuestas o aprovechadas en el riego agrícola, se ha considerado que a fines del año horizonte del proyecto se proceda a la desinfección del agua residual efluente, bien sea por la aplicación de radiación ultravioleta en cada una de las estructuras de salida de las lagunas facultativas o mediante la aplicación de cloro gaseoso a la salida del complejo de tratamiento.

En lo que respecta a la seguridad, toda la instalación cuenta con un cerco conformado por postes de concreto y alambre de púas complementándose con una caseta de control al ingreso de la planta de tratamiento.



**FIG. 2.1 UBICACIÓN DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION**

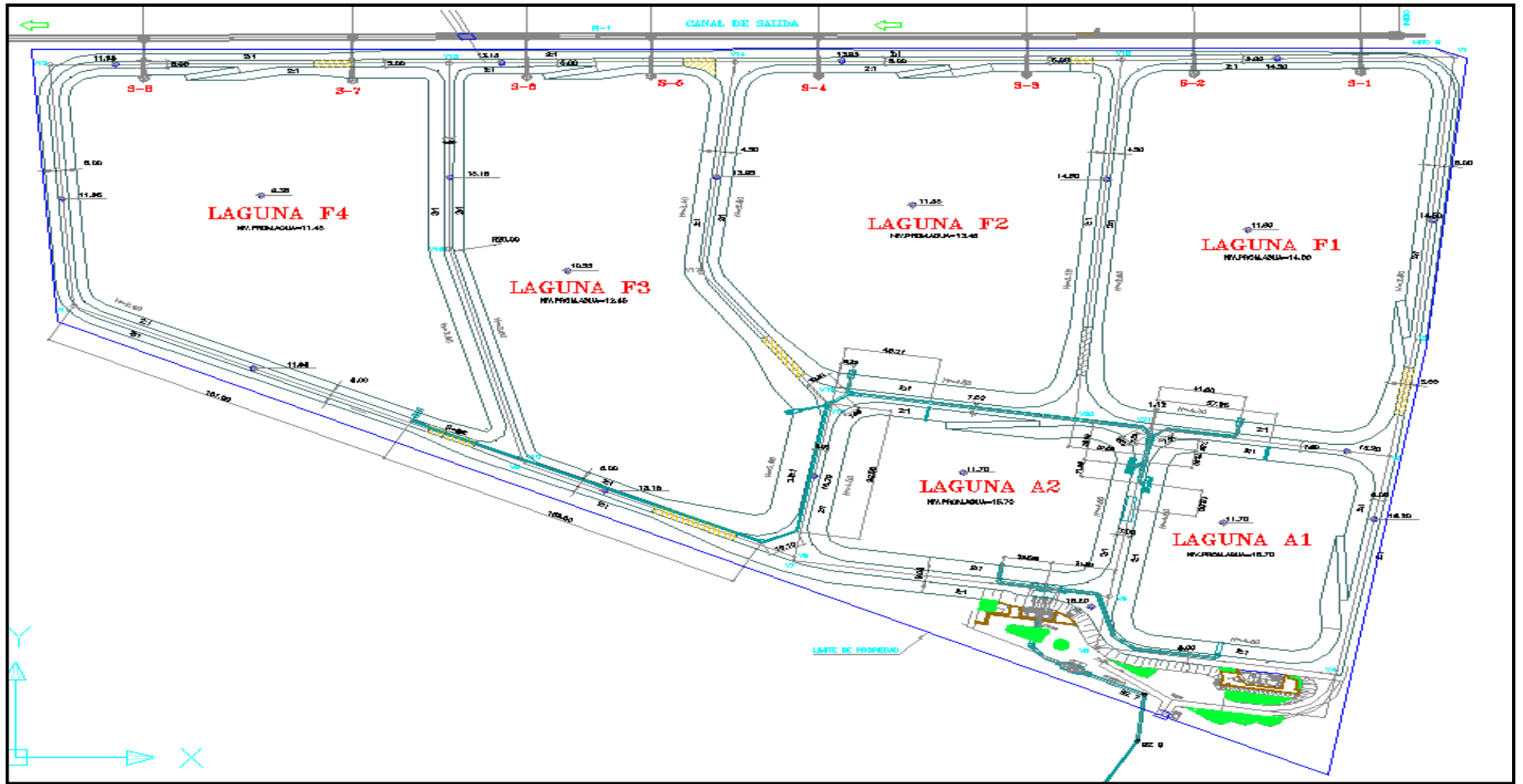


FIG. 2.2 DISTRIBUCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COVICORTI

## 2.3.2. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

### 2.3.2.1. Origen de las aguas residuales

Las aguas residuales, tienen su origen en la actividad diaria del hombre y procede de las viviendas, oficinas, instituciones, comercio, industrias, etc. El agua residual de origen doméstico está conformado por los desechos líquidos procedentes de la cocina, lavandería, baño, etc. Y se le conoce popularmente como desagüe doméstico. Si la descarga de la vivienda al sistema de alcantarillado no contiene la descarga del inodoro, se le conoce como “agua gris”.

De otra parte, las aguas residuales procedentes de oficinas, instituciones y comercio pueden tener características similares al doméstico, siempre que no exista una actividad comercial que altere la calidad de las aguas residuales procedentes de los servicios higiénicos. Ver figura 2.3. Finalmente, en los que respecta a las descargas de origen industrial, normalmente está compuesta por desechos líquidos procedentes de los procesos industriales, siendo la parte doméstica relativamente mínima.

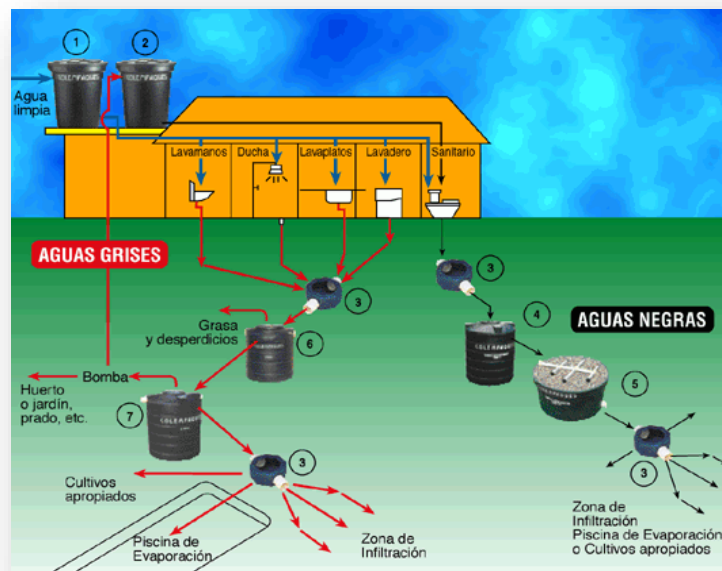


FIG. 2.3 FUENTE DE GENERACION DE AGUAS RESIDUALES

### **2.3.2.2. Recolección**

Las aguas residuales producidas por la actividad diaria del hombre, son recolectadas por el sistema de alcantarillado y conducido a la planta de tratamiento de aguas residuales o al punto de disposición final. El caudal de agua residual no siempre tiene un régimen regular descende significativamente durante la noche y dependiendo del tamaño de la población servida, el caudal máximo puede alcanzar hasta tres veces el caudal medio diario.

### **2.3.2.3. Composición de las aguas residuales**

Las aguas residuales, estén o no diluidas con agua de lluvia, contienen elementos contaminantes que al ser descargados al medio ambiente pueden causar riesgo a la salud del hombre. Los principales contaminantes que contiene el agua residual y que pueden estar disueltos o suspendidos, se agrupan como sigue:

- Materia orgánica de grado variable de biodegradabilidad
- Compuestos nitrogenados de origen orgánico o mineral
- Compuestos fosforados provenientes principalmente de los detergentes.

## **2.3.3. TECNOLOGIA APLICADA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI**

### **2.3.3.1. Componentes del sistema de tratamiento**

El sistema de tratamiento de aguas residuales de Covicorti está compuesto de los siguientes procesos:

- Estructura de llegada
- Cribas
- Medidor de Caudal

- Vertedero de rebose y by-pass
- Estación de bombeo
- Estructura de repartición
- Estructuras de ingreso a lagunas aeradas
- Lagunas aeradas
- Estructuras de salida de lagunas aeradas
- Canal de recolección y distribución
- Estructuras de ingreso de lagunas facultativas
- Lagunas facultativas
- Estructuras de salida de lagunas facultativas
- Canal de recolección

### **2.3.3.2. Características de los componentes del sistema de tratamiento**

*a.- Estructura de llegada.-* La estructura de llegada se ubica al ingreso de la planta de tratamiento y es el lugar donde concluye el emisor. La obra está constituida por una caja de concreto dimensionada en función del caudal pico del año 2012. La estructura de llegada cuenta con un ingreso para la aplicación de cloro en los casos en que la presencia de olores sea notoria y afecte al entorno ambiental.

*b.- Cribas de limpieza mecánica.-* En la planta de Covicorti la cámara de rejas es de limpieza mecánica. Esta cámara está compuesta de dos compartimientos. Adicionalmente, para casos de emergencia, la cámara de rejas cuenta con una compuerta para evitar el ingreso del afluente a la planta de tratamiento. El agua represada en la parte final del emisor rebalsará por la

caja de interconexión situada sobre el actual emisor a la altura de la avenida Juan Pablo II y fluirá hacia el mar por el antiguo emisor.

El funcionamiento del dispositivo de limpieza de las rejas de Covicorti, será controlado por la diferencia del nivel de agua antes y después de las barras y tan pronto como se alcance un desnivel de agua determinado, (por ejemplo 10 cm). Adicionalmente e independiente de la pérdida de carga, una unidad de control accionará el dispositivo de limpieza en forma periódica.

La instalación cuenta con una faja transportadora para retirar el material cribado hacia un contenedor movable. Los residuos almacenados en el contenedor deberán ser retirados periódicamente por el servicio municipal de recolección de residuos sólidos para su disposición final en el relleno sanitario.

La sección transversal de las cámaras de rejas fue dimensionada de manera de permitir una velocidad de flujo entre las rejas no menor a 0.6 m/s ni mayor a 1.4 m/s. El espaciamiento entre los elementos metálicos de las rejas fue establecido en 40 mm a fin de no afectar el funcionamiento de los equipos de impulsión del agua residual y el espesor de los referidos elementos metálicos están comprendidos entre 8 a 13 mm. La cantidad de material cribado y a ser retenido por las rejas ha sido estimada en 15 litros por 1000 m<sup>3</sup> de agua residual tratada.

***c.- Medidor de caudal.-*** Al ingreso a la estación elevadora de aguas residuales de la planta de tratamiento de Covicorti, se ha construido un medidor de caudal tipo Khafagi-Venturi.

Este medidor tiene la particularidad de poseer baja pérdida de carga y permitir mediciones confiables sin favorecer la sedimentación del material particulado y además de su fácil construcción. Las mediciones se pueden realizar directamente aguas arriba de la garganta o en la poza de medición situada a un lado del medidor. En la poza podrá instalarse un limnógrafo para el registro continuo de los caudales.

**d.- Vertedero de rebose y by-pass.-** La instalación proyectada cuenta con un vertedero de rebose que entrará en funcionamiento si por alguna circunstancia fortuita los equipos de bombeo o rejas dejaran de operar. Al efecto, la compuerta de ingreso situada aguas arriba de la cámara de rejas deberá cerrarse automáticamente.

**e.- Estación elevadora de aguas residuales.-** La diferencia altimétrica entre la llegada del emisor y el nivel del espejo de agua, ha conducido a que se considere la necesidad de la construcción de una estación elevadora de las aguas residuales crudas.

La estación de bombeo y los equipos han sido diseñada para atender el caudal pico del año 2012 y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de las bombas, a fin de minimizar el fenómeno de cavitación, conseguir una obra económica y un mejor rendimiento de los equipos de bombeo. Al efecto, el agua cruda ingresará a una cámara de reparto desde donde se distribuirá a cada uno de los sectores de la estación elevadora.

A su vez, la cámara de reparto esta dotada de compuertas para aislar los sectores de la cámara húmeda y de este modo facilitar las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo de las unidades de bombeo o de la cámara propiamente dicha.

**f.- Lagunas de estabilización.-** El dimensionamiento de las lagunas aeradas facultativas se ha basado en el modelo matemático de O'Connor y Eckenfelder habiéndose efectuado dos balances independientes y relacionados con los niveles del substrato orgánico soluble (DBO) en el efluente y de la biomasa activa (SSVT). Los requerimientos de oxígeno para la síntesis y la respiración endógena se han calculado sobre la base de dos coeficientes.

El diseño de las lagunas de estabilización del tipo facultativo se ha efectuado aplicando dos tipos de metodologías: a) modelos matemáticos y b) modelos empíricos. Para la reducción de la carga orgánica (DBO) se ha seleccionado el modelo del CEPIS desarrollado por el Dr. Yáñez y para la



reducción de la carga bacteriana el modelo de dispersión. Estos modelos fueron seleccionados en vista de que fueron desarrollados, calibrados y verificados para condiciones similares al área del proyecto.

Los criterios de diseño están basados en las siguientes consideraciones:

- ***Lagunas aeradas facultativas***

Periodo de retención mínimo	1.47 días
Período de retención promedio	1.85 días
Profundidad máxima	4.0 m
Constante de asimilación de DBO	0.026 /l(mgXv/l-día)
Sólidos vía síntesis (a)	0.5 mg Xv/mg DBO
Respiración endógena (b)	0.12 l/d
Rendimiento del aerador	1.5 kg O <sub>2</sub> /kW-h
  
- ***Laguna secundaria ó facultativa***

Profundidad	2.10 m
Tasa máxima aplicable (20°C)	380 kg.DBO <sub>5</sub> /ha día (según Yáñez)
Factor de seguridad	0.9
Tiempo de retención mínimo por laguna	4.0 días
Tiempo de retención promedio por laguna	5.2 días
  
- ***Temperatura ambiental***

Promedio mínimo mensual	13 °C
Promedio máximo mensual	20 °C
  
- ***Tasa de decaimiento bacteriano***

Neto	1.2-0.85 l/día
------	----------------

**g.- Estructuras de reparto.** - La experiencia ha demostrado que el mal funcionamiento de muchos de los procesos de tratamiento está relacionado con la deficiente distribución del caudal afluente a causa del empleo de dispositivos de control poco confiables y que para un adecuado funcionamiento requieren de constantes ajustes. A fin de garantizar la distribución proporcional de las aguas residuales, en el proyecto se han construido estructuras de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión que permiten la distribución del agua en forma proporcional al área superficial de cada uno de los reactores biológicos y en forma independiente a la variación del caudal de las aguas residuales crudas y/o tratadas que van a ser distribuidas a las lagunas aeradas.

Así mismo, en el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento. Al efecto, las estructuras de reparto cuentan con guías para la inserción de ataguías de clausura.

**h.- Estructuras de ingreso a las lagunas aeradas.**- Luego de la distribución de las aguas, ellas discurrirán a cada reactor por canales independientes. La estructura de ingreso será del tipo ladera, es decir, la descarga se producirá próximo al borde del dique y la geometría de la estructura conducirá a que el agua ingrese violentamente de modo que alcance las líneas del flujo producido por el aerador más próximo. De este modo se minimizará la disposición del material sedimentado en la zona de ingreso de las aguas residuales crudas.

**i.- Estructuras de salida de las lagunas aeradas.**- Esta conformado por un vertedero rectangular de pared gruesa y borde redondeado protegido por una pantalla destinada a impedir la salida del material flotante. La escotadura del vertedero se ha diseñado para que la carga hidráulica no sea mayor a 17 centímetros en el momento en que se encuentren trabajando tres bombas simultáneamente y una de las lagunas aeradas esté fuera de servicio por mantenimiento. Aun lado de la estructura del vertedero se ha diseñado una

poza de 30 centímetros de diámetro para efectuar las mediciones del tirante de agua o para la instalación de un limnígrafo.

***j.- Canal de recolección y distribución.***- El efluente de las lagunas aeradas será conducido por canales rectangulares y en las proximidades a los ingresos de las lagunas facultativas se han construido dispositivos de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión que permiten la distribución del agua en forma proporcional al área superficial de cada uno de las lagunas facultativas y en forma independiente de la variación del caudal de las aguas residuales efluentes de las lagunas aeradas.

Así mismo, en el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento. Al efecto, las estructuras de reparto cuentan con guías para la inserción de las ataguías de clausura y de variación en la posición de la placa distribuidora de caudal para ajustar el caudal a las nuevas condiciones de trabajo.

***k.- Estructura de ingreso a las lagunas facultativas.***- Las estructuras de ingreso a las lagunas facultativas son similares a las empleadas en los reactores mecanizados y se considera que por las características del efluente de las lagunas aeradas, los lodos se distribuyan más uniformemente en toda la extensión de la laguna de maduración.

***l.- Estructura de salida de las lagunas facultativas.***- Teniendo en cuenta que el objetivo de las lagunas facultativas es la remoción de los sólidos sedimentables, huevos de parásitos y quistes de protozoarios, así como la reducción del contenido de coniformes, las estructuras de salida de las lagunas facultativas fueron diseñados aplicando el concepto de tasa de desborde. De otra parte, a fin de incrementar la eficiencia remocional de huevos de helmintos, las estructuras de salida de las lagunas facultativas están situadas distantes de la orilla y dotadas de pantallas para retener el material flotante y facilitar la adherencia de los huevos de ascaris.

Como medida de protección contra el desborde, cada estructura de salida cuenta con aliviaderos para el control del nivel máximo de agua en la laguna. Adicionalmente está dotada de una poza para la medición del caudal efluente a través de la determinación de la altura de agua sobre la cresta del vertedero.

***m.- Canal de recolección.-*** El efluente de cada laguna será recolectada por medio de canales que dispondrán las aguas residuales tratadas en los canales de riego de la Cooperativa Laredo o en los pertenecientes a los pequeños agricultores y para su aprovechamiento en actividades agrícolas. Los excedentes, serán dispuestos convenientemente al mar por medio del empleo del actual emisor de 1300 mm.

Los canales de recolección de las aguas residuales tratadas serán de forma trapezoidal y las que se encuentren al pie de los terraplenes de las lagunas serán recubiertas con losas de concreto a fin de no afectar la estabilidad de los diques.

***n.- Otros.-*** Con el propósito de garantizar al funcionamiento ininterrumpido de los equipos electromecánicos, está considerado la instalación de un generador eléctrico accionado, a petróleo diesel. Esta unidad está ubicada en un ambiente próximo a la estación elevadora de aguas residuales y también servirá para suministrar energía eléctrica a los aeradores y cámara de rejillas.

En el diseño de la estación de bombeo y del ambiente del generador, se ha considerado todos los elementos de seguridad para el personal encargado de la operación de los equipos.

Adicionalmente, la planta cuenta con un edificio de servicios compuesto de oficina, laboratorio de control de procesos, vestíbulo, servicios higiénicos y almacén. El suministro de agua potable se efectuará a partir de una cisterna y tanque elevado servido por medio de camión cisterna.

### 2.3.3.3. Calidad de los efluentes

El contenido de bacterias coliformes en las aguas residuales tratadas se incrementará con los años como consecuencia del mayor caudal a ser tratado y el menor periodo de retención de las lagunas de estabilización. Se estima a fines del horizonte del proyecto, será necesario desinfectar los efluentes de las lagunas de estabilización para lograr el contenido permitido de coliformes. Al efecto, la desinfección se podrá efectuar por medio de la aplicación de radiación ultravioleta o de cloro gaseoso. En el cuadro 2.1 se presenta la calidad física, química y bacteriológica probable de la calidad de los efluentes de las lagunas de estabilización para diferentes años.

**Cuadro 2.1.- Calidad promedio de las aguas residuales tratadas**

Características	1997	2002	2007	2012	2012*	Expresión
Caudal	34995 405	41682 482	49660 575	59166 685	76052 880	m <sup>3</sup> /día l/s
DBO afluente	302	308	314	320	320	mg/l
Periodo de retención						
Aerada	3.11	2.61	2.19	1.84	1.43	días
Facultativa	8.75	7.34	6.16	5.17	4.00	días
Carga facultativa	67	92	127	175	276	kg DBO/ha-d
Coliformes fecales						
Aerada	2.1E+07	2.4E+07	2.7E+07	3.1E+07	3.6E+07	NMP/100ml
Facultativa	3.1E+05	5.4E+05	9.0E+05	1.5E+06	2.8E+06	NMP/100ml
DBO efluente						
Aerada	29	34	39	45	55	mg/l
Facultativa	45	38	32	27	8	mg/l
Potencia						
Neta	367	428	505	584	715	hp
Bruta	422	492	581	671	822	hp

\*Situación más desfavorable y correspondiente al caudal máximo diario.

#### **2.3.3.4. Consideraciones constructivas**

El fondo y las paredes internas de las lagunas aeradas se han construido recubiertas con losas de concreto y asfalto a fin de minimizar la acción erosiva de las corrientes de agua a ser creados por los aeradores y de las olas formadas por la acción del viento o sismo. En el caso de las lagunas facultativas, las paredes internas de los diques han sido recubiertas con losas de concreto para minimizar el efecto del oleaje.

Así mismo en el cálculo de la altura del borde libre de los diques, se ha tenido en cuenta la acción del viento y efecto de sismo.

La orientación de las lagunas está ajustada en la dirección predominante, de los vientos para optimizar el aporte de oxígeno al cuerpo de agua y las estructuras de salida han sido diseñadas para maximizar la reducción en el contenido de huevos de parásitos.

#### **2.3.3.5. Características de las lagunas de estabilización**

En el cuadro 2.2 se resumen las características físicas de las lagunas de estabilización que conforma el sistema de tratamiento de Covicorti.

**Cuadro N° 2.2: Características físicas de las lagunas de estabilización de Covicorti**

**DATOS DE DISEÑO**

Generales

Caudal promedio	59.166	m <sup>3</sup> /día (685 l/s)
Caudal de diseño	76.052	m <sup>3</sup> /día ( 880 l/s)
DBO afluente	320	mg/l
Sólidos suspendidos	300	mg/l
Temperatura mínima	13	°C
Temperatura máxima	25	°C
Coliformes crudo	1.0E+8	por 100 ml
Tasa de mortalidad	1.2	l/día
Elevación	14	msnrn

Criterios de diseño de lagunas aeradas

Constante de asimilación	0.025	l/(día-mgXV/l)
Sólidos vía síntesis (a)	0.5	mgXv/mgSS
Respiración endógena (b)	0.12	l/día
Requerimiento de oxígeno (síntesis) (a')	0.53	kg O <sub>2</sub> /kg DBOr
Requerimiento de oxígeno (endógena) (b')	0.075	kg O <sub>2</sub> /kg XV-día
Oxígeno residual	1.5	mg/l
Rendimiento de aerador	1.5	kg O <sub>2</sub> /kWh
Factor de servicio	1.15	

Criterios de diseño de lagunas facultativas

Factor de seguridad	0.8	
---------------------	-----	--

**DIMENSIONAMIENTO**

Lagunas aeradas

Largo	153	m
Ancho	102	m
Profundidad	4.0	m
Unidades	2	
Volumen unitario	54.450	m <sup>3</sup>
Área superficial unitaria	1.56	ha
Sólidos suspendidos	385	mg/l
Periodo de retención mínimo al año 2012	1.47	días

Periodo de retención promedio al año 2012	1.85	días
<b>Aeradores</b>		
Rendimiento neto de aerador	1.12	kg O2/kWh
Potencia neta total	715	hp
Potencia bruta total	822	hp
Potencia de aerador	75	hp
Número de aeradores	6	unid
Densidad energética (máxima)	4.90	vattios/m3
Densidad energética (mínima)	1.36	vattios/m3
<b>Lasunas facultativas</b>		
Carga máxima	340	Kg DBO/ha-d
Carga de diseño	276	kg DBO/ha-d
Largo	276	m
Ancho	138	m
Profundidad	2.1	m
Unidades	4	
Volumen unitario	76.210	m3
Área superficial unitaria	3.8	ha
Período de retención mínimo al año 2012	4.0	días
Periodo de retención promedio al año 2012	5.1	días
<b>Áreas superficiales unitarias</b>		
Laguna aerada A-1	1.56	ha
Laguna aerada A-2	1.56	ha
Laguna facultativa F-1	3.84	ha
Laguna facultativa F-2	3.81	ha
Laguna facultativa F-3	3.77	ha
Laguna facultativa F-4	3.81	ha
Área total de lagunas del sistema de	21.6	Ha
<b>DBO</b>		
Crudo	320	mg/l
Efluente aerada	45	mg/l
<b>Coliformes</b>		
Crudo	1.0 E+8	por 100 ml
Efluente aerada	3.1 E+7	por 100 ml



#### **2.3.4. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COVICORTI**

La información obtenida directamente por el operador y archivada sin procesarla carece valor si no es adecuadamente condensada y presentada de modo que facilite su comprensión a la mayor parte de personas relacionadas con las labores de operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización, así como para la toma de decisiones relacionadas con el manejo de la planta de tratamiento, por parte de los niveles directivos.

El programa de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Covicorti, ha sido diseñado a partir del supuesto de que existirá una conveniente política de registro periódico de los parámetros operacionales recomendados.

En la selección de los parámetros, se ha tenido en cuenta el uso que se pudiera dar a la información recolectada, principalmente en lo relacionado con el aspecto de control y evaluación de los procesos de tratamiento. Cada parámetro seleccionado ha sido cuestionado con el objeto de optar únicamente por aquellos considerados estrictamente como indispensables.

Por si sola la información de las observaciones de campo, meteorológicas u otras carecen de valor, si no se dispone de un adecuado sistema de recuperación, procesamiento y difusión, por lo que se estima conveniente que el Jefe de Planta asuma esta responsabilidad.

##### **2.3.4.1. Importancia de los registros**

Los registros en general son de mucha importancia y necesidad en las labores de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento por que permiten obtener información acerca de los siguientes aspectos:

- a. Eficiencia de los procesos de tratamiento;
- b. Efectividad del tipo y frecuencia de mantenimiento de los diferentes procesos con que cuenta la planta de tratamiento;

- c. Consideraciones para la modificación del plan de operación o mantenimiento;
- d. Evaluación del desempeño presente, así como de la información necesaria para el diseño de similares plantas de tratamiento;
- e. Justificación para la asignación presupuestaria de personal, requerimientos adicionales o equipamientos.
- f. Suministro de la información necesaria para la preparación de los reportes mensuales o anuales.

Generalmente, se acostumbra a clasificar los registros en cuatro grupos:

- ✓ Registros de operación o funcionamiento.
- ✓ Registros de mantenimiento
- ✓ Registros de determinación de costos
- ✓ Registros de personal

En el presente caso, se analiza y recomiendan los procedimientos necesarios para el manejo de las lagunas aeradas y estabilización propiamente dichas. En documento aparte se trata todo lo relacionado con los aspectos electromecánicos.

#### **2.3.4.2. Registros de operación o funcionamiento**

Están compuestos por:

- Caudal que entra y sale de la planta de tratamiento
- Características fisico-químicas y biológicas de afluentes y efluentes

#### **2.3.4.3. Registros de mantenimiento.- Están conformados por:**

- Mantenimiento de planta
  - a) Registros de mantenimiento preventivo y correctivo
  - b) Mantenimiento de la edificación
  - c) Mantenimiento de lagunas, canales y diques

- Medición de medidores de caudal
  - a) Mantenimiento de estructuras de medición
  - b) Mantenimiento de sensores

#### **2.3.4.2. Registros de personal.-** Están conformados por:

- Registro de personal empleado
- Horas de trabajo por tareas
- Funciones
- Categorización
- Programas de adiestramiento

#### **2.3.4.5. Archivo de la información**

Los registros deben ser permanentes, completos y exactos, y ser llenados con bolígrafo y nunca con lápiz de carboncillo, ya que pueden dar lugar a alteraciones o borrones resultando registros falsos que en muchos casos son de mayor peligro que aquellos datos no registrados. Además, las ocurrencias y operaciones realizadas durante el día, el operador debe anotarlos en el "libro de ocurrencias" en el momento oportuno y por ningún motivo al final de la jornada.

#### **2.3.4.6. Diseño de programas de muestreo y medición**

El programa de muestreo y medición a ser aplicado en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de Covicorti está dirigido a obtener información sobre tres campos:

- Control de procesos
- Aspectos económicos
- Criterio de diseño

El plan que se propone en el presente documento, es muy amplio de modo que puede ser adaptado a los requerimientos o intereses de la Institución o del Jefe de Planta.

#### **2.3.4.7. Control de procesos**

El control de los procesos es la vigilancia del conjunto de componentes o procesos que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales y que en el presente caso, es la atención prestada al comportamiento de las lagunas de estabilización.

El control de los procesos reviste gran importancia durante la puesta en funcionamiento y la fase rutinaria de operación del sistema de tratamiento. Básicamente, el procedimiento está conformados por un conjunto de mediciones físicas como: caudal, balance hidráulico, distribución de agua, etc.; determinaciones químicas tales como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, pH, demanda química de oxígeno y de otros parámetros complementarios y de gran interés en virtud que son importantes en la explicación de los fenómenos que inciden en el comportamiento de las lagunas de estabilización.

#### **2.3.5. LUGARES DE MUESTREO**

En la determinación de los lugares de muestreo se ha tenido en cuenta la importancia del punto de muestreo con respecto a la evaluación de la eficiencia de funcionamiento del proceso de tratamiento. En la figura N° 2.4 se indica los puntos seleccionados para la toma de muestras de los análisis físico - químico, bacteriológico y parasitológico.

Los puntos de muestreo seleccionados son:

- ✓ Afluente a la planta de tratamiento. Inmediatamente después del repartidor de caudal
- ✓ Efluente de laguna aerada N° 1
- ✓ Efluente de laguna aerada N°2

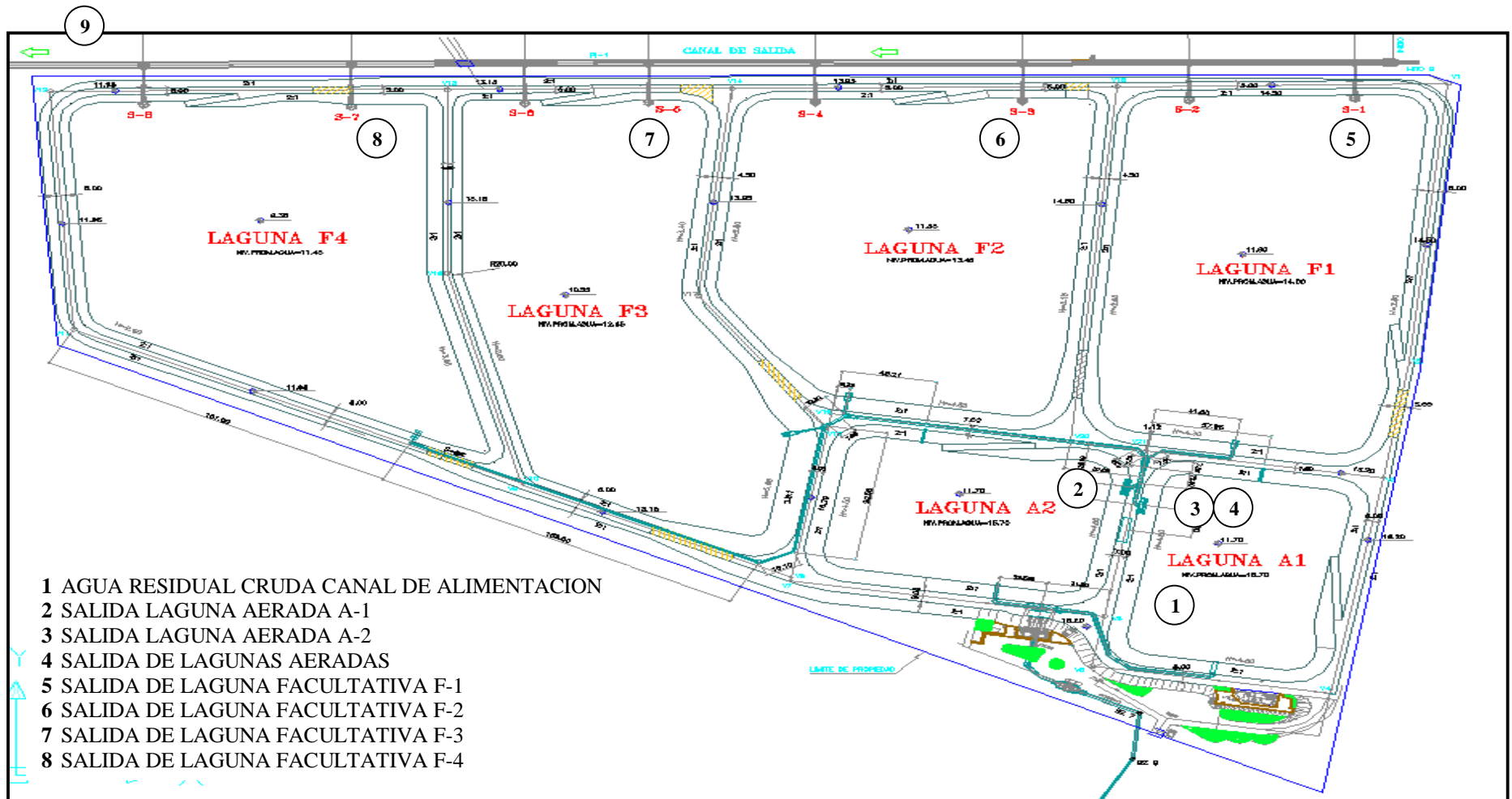
- ✓ Efluente total de lagunas aeradas aguas arriba del repartidor
- ✓ Efluente de laguna facultativa N° 1
- ✓ Efluente de laguna facultativa N° 2
- ✓ Efluente de laguna facultativa N° 3
- ✓ Efluente de laguna facultativa N° 4
- ✓ Efluente total de lagunas facultativas

### **2.3.6. EQUIPOS DE ANÁLISIS REQUERIDOS**

Para la realización del muestreo y de las determinaciones de control operacional se requiere que la planta cuente como mínimo con el siguiente equipamiento:

- Medidor de pH portátil 2 unidades
- Medidor de oxígeno disuelto portátil 2 unidades
- Termómetros 2 unidades
- Linrmígrafo 2 unidades
- Muestreadores automáticos 2 unidades

Como elementos de apoyo, el laboratorio necesitará contar con un equipo de producción de agua destilada, estufa e incubadora de DBO. De optarse por el nivel medio y avanzado, sería necesario complementarlo con equipos de digestión para DQO, nitrógeno total y amoniacal, así como de una mufla. Los análisis de coliforme total y coliforme fecal pudieran ser efectuados por el laboratorio de control de calidad de la empresa de agua. Adicionalmente, será necesario dotarlo de cristalería y de los reactivos necesarios para la realización de las pruebas analíticas.



**FIG. 2.4 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO**

## 2.4. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CORTIJO



Las lagunas aeradas y de estabilización cuando están apropiadamente diseñadas, construidas y operadas, son un sistema adecuado de tratamiento de las aguas residuales que no afecta al medio ambiente ni producen problemas a la comunidad, teniendo una alta capacidad de remoción de la carga orgánica y biológica. Las lagunas de tratamiento bien operadas y mantenidas pueden funcionar satisfactoriamente y sin problemas durante muchos años. Sin embargo, el potencial de máxima utilidad de un sistema de lagunas es obtenido solamente a través de una adecuada operación y mantenimiento, y realizado por operadores debidamente capacitados.

Una buena operación se justifica de muchas formas, acredita al operador y subordinados ante la comunidad, presenta una imagen positiva de la empresa prestadora de servicios y provee tratamiento a un mínimo costo y por largos periodos de tiempo sin gravar la tarifa del servicio. Por otro lado, una laguna mal operada puede llenarse de maleza, cubrirse de natas y desarrollar malos olores conjuntamente con la proliferación de vectores tales como roedores y mosquitos, suscitando la protesta de la población.

#### **2.4.1. Antecedentes y sistema de tratamiento de cortijo**

Trujillo metropolitano está conformado por los distritos de Trujillo, Víctor Larco Herrera, el Porvenir, Florencia de Mora y la Esperanza que en conjunto albergó en 1995 un total de 539,280 habitantes, de los cuales 339,500 disponían de servicio de alcantarillado.

Hasta el año 1997, la ciudad de Trujillo contó con cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales: Valdivia, El Milagro, Covicorti y el Parque Industrial que atendían áreas específicas de la ciudad. Valdivia trató las aguas residuales de la Urbanización Manuel Arévalo, El Milagro, las aguas residuales de la localidad del mismo nombre; Covicorti los de la urbanización Covicorti y El Parque Industrial las aguas residuales de la referida área industrial.

A partir del año 1998, se han sumado dos sistemas de tratamiento de aguas residuales conocidos como Covicorti y El Cortijo que están situados al sur oeste de la ciudad de Trujillo (ver figura 2.5) desapareciendo las antiguas lagunas de Covicorti. Estos dos nuevos sistemas de tratamiento deberán tratar aproximadamente el 80 % del total de los desechos líquidos producidos por la referida ciudad, el restante 20% de aguas residuales seguirá siendo atendido por las lagunas de Valdivia, El Milagro y el Parque Industrial.

El sistema de tratamiento de El Cortijo, trata las aguas residuales producidas por Florencia de Mora y la parte sur de La Esperanza y el sistema de Tratamiento de Covicorti, acondiciona los desechos de El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco Herrera, siendo la estación de tratamiento más grande entre las dos previstas.

El sistema de tratamiento de El Cortijo, trata las aguas residuales producidas por Florencia de Mora y la parte sur de La Esperanza y el sistema de Tratamiento de Covicorti, acondiciona los desechos de El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco Herrera, siendo la estación de tratamiento más grande entre las dos previstas.

La planta de tratamiento de El Cortijo tiene capacidad para tratar al año 2012 un caudal promedio anual de 17, 485 m<sup>3</sup>/día (202 l/s) y está compuesta de las siguientes estructuras:



- Cámara de rejas manual
- Estructura de medición
- Estación elevadora de aguas residuales crudas
- Dos lagunas aereadas-facultativas y
- Tres lagunas facultativas

Las lagunas aereadas-facultativas cuentan con aeradores helicoidales del tipo inclinado o aspirante y funcionarán de manera que el contenido del oxígeno disuelto en la masa del agua no sea menor a 1.0 mg/l ni mayor a 2.5 mg/l con un promedio de 1.5 mg/l.

Adicionalmente, la planta cuenta con un edificio de servicios compuesto de oficina, laboratorio de control de procesos, vestíbulos, servicios higiénicos y almacén. El suministro de agua potable se efectuará a partir de una cisterna y tanque elevado servido por medio de camión cisterna. El material resultante de la limpieza de las rejas y del desnatado de las lagunas se almacenará en contenedores situados en las proximidades de la cámara de rejas desde donde se dispondrá periódicamente al relleno sanitario.

Las aguas residuales tratadas por las lagunas facultativas serán dispuestas a los canales de riego más cercanos para ser empleados totalmente en el riego agrícola de los terrenos de cultivo del CAP Laredo.

En casos de emergencia, se pondrá derivar las aguas residuales crudas a los campos de cultivo a través de un canal de excedentes. La derivación se hará por medio de un aliviadero situado antes de la estación elevadora de aguas residuales y el canal circundará las lagunas aereadas y la huaca existente en el lugar antes de su descarga al canal de riego.

El complejo se complementa con las instalaciones eléctricas necesarias para el funcionamiento de los equipos de bombeo, aeradores e iluminación, así como con un grupo electrógeno de emergencia. En la Figura 2.2 se muestra la distribución de las lagunas de El Cortijo.

A fin de garantizar la continuidad de la calidad bacteriológica de las aguas residuales tratadas y a ser dispuestas o aprovechadas en el riego agrícola, se ha considerado que a fines del año horizonte del proyecto se proceda a la desinfección del agua residual efluente, bien sea por la aplicación de radiación ultravioleta en cada una de las estructuras de salida de las lagunas facultativas o mediante la aplicación de cloro gaseoso a la salida del complejo de tratamiento.

En lo que respecta a la seguridad, toda la instalación cuenta con un cerco conformado por postes de concreto y alambre de púas complementándose con una caseta de control al ingreso de la planta de tratamiento.

**FIG. 2.5 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CORTIJO**

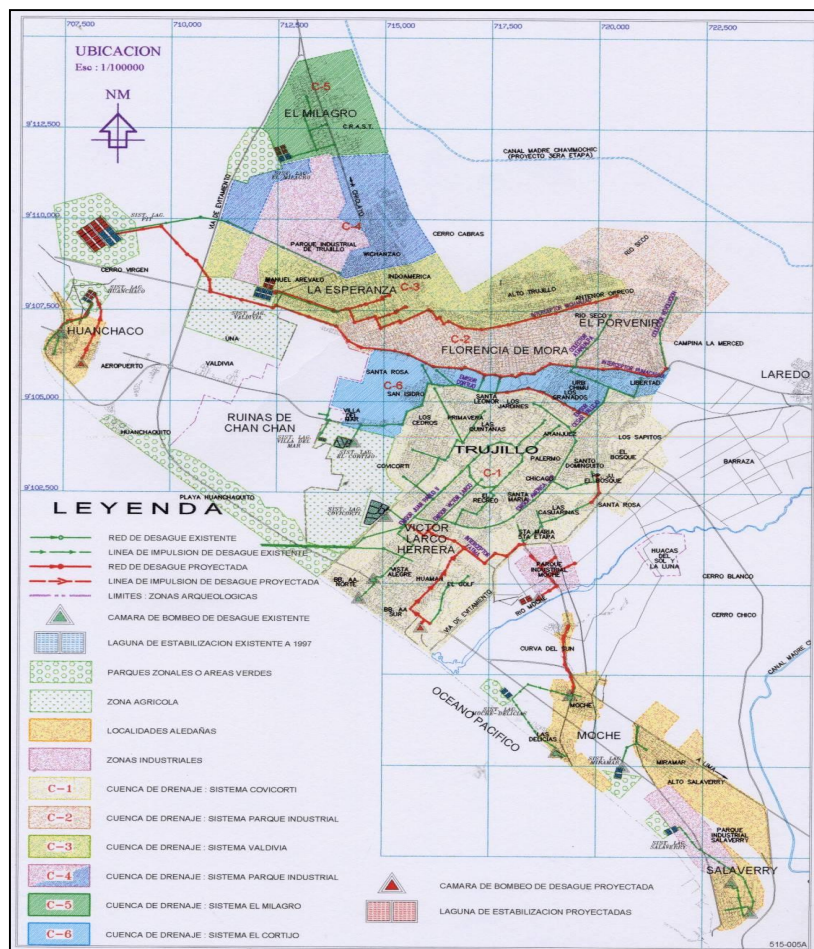
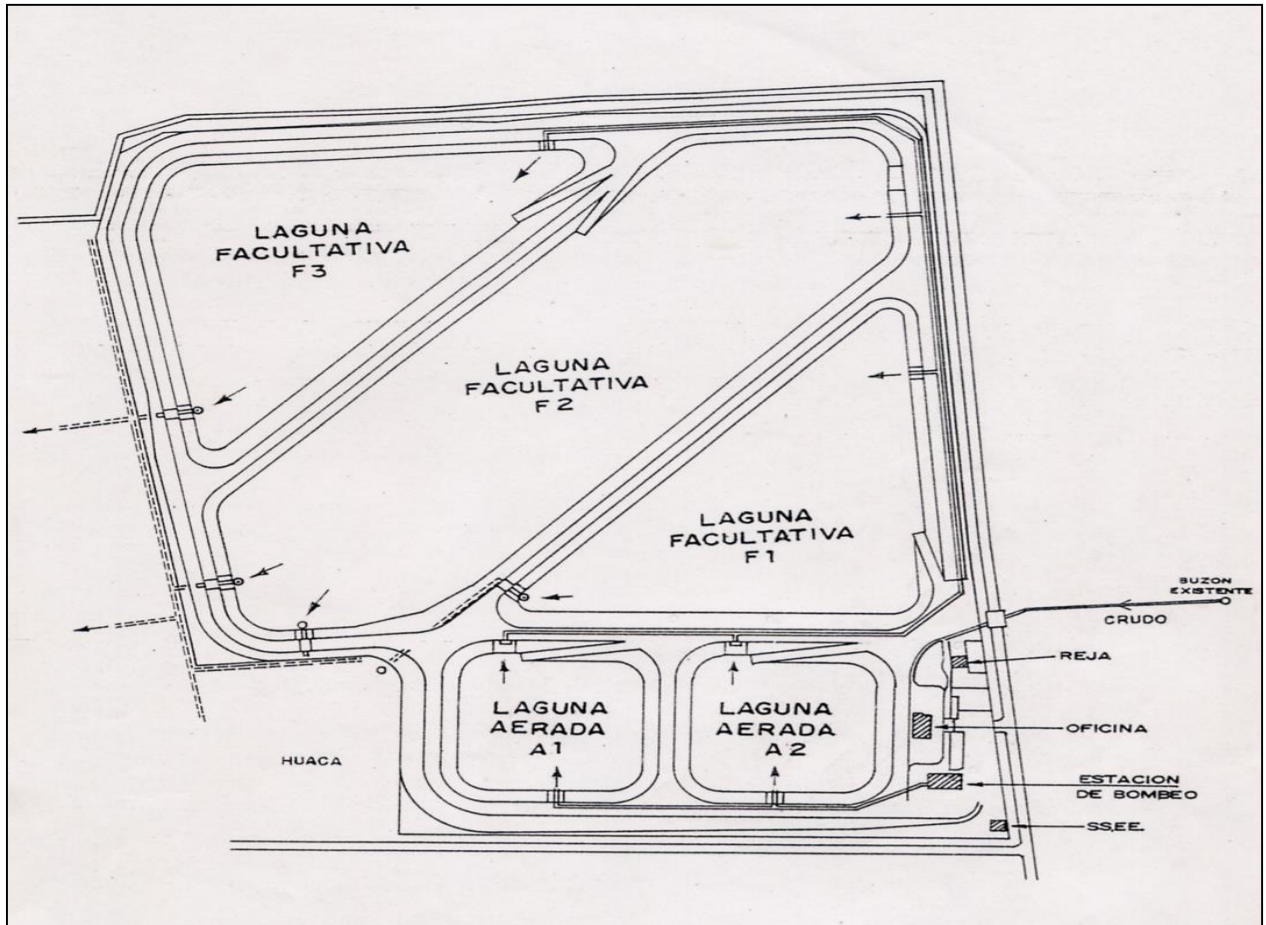


FIG. 2.6 DISTRIBUCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CORTIJO



## **2.4.2. TECNOLOGIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE EL CORTIJO**

### **2.4.2.1. Componentes del sistema de tratamiento**

El sistema de tratamiento de aguas residuales de El Cortijo está compuesto de los siguientes procesos:

- Estructura de llegada
- Cribas
- Medidor de Caudal
- Vertedero de rebose y by-pass
- Estación de bombeo
- Estructura de repartición
- Estructuras de ingreso a lagunas aeradas
- Lagunas aeradas
- Estructuras de salida de lagunas aeradas
- Canal de recolección y distribución
- Estructuras de ingreso de lagunas facultativas
- Lagunas facultativas
- Estructuras de salida de lagunas facultativas
- Canal de recolección

### **2.4.2.2. Características de los componentes del sistema de tratamiento**

*a.- Estructura de llegada.-* La estructura de llegada se ubica al ingreso de la planta de tratamiento y es el lugar donde concluye el emisor. La obra está constituida por una caja de concreto dimensionada en función del caudal pico del año 2012. La estructura de llegada cuenta con un ingreso para la aplicación de cloro en los casos en que la presencia de olores sea notoria y afecte al entorno ambiental.

*b.- Cribas de limpieza mecánica.-* En la planta de El Cortijo la cámara de rejas es de limpieza manual a causa del bajo caudal. Esta cámara está compuesta de dos compartimientos y en uno de ellos se encuentran instaladas las rejas y el segundo funcionará como aliviadero, pero que en un futuro, podrá instalarse una reja

adicional. El aliviadero funcionará solo en casos de emergencias cuando la pérdida de carga en las rejillas, por la falta de limpieza de los elementos metálicos, conduzca a incrementar el nivel de agua por encima del nivel máximo de operación. La limpieza de las rejillas de El Cortijo, deberá ser efectuada antes que se alcance el máximo nivel de rebose y establecido en 20 centímetros.

Para el escurrimiento del material retenido en las rejillas, el dispositivo contará con una plancha metálica en donde se depositará por breves momentos, el material húmedo extraído de las aguas residuales. Transcurrido el tiempo de escurrimiento, este material se dispondrá en la losa de concreto adyacente desde donde se trasladará al contenedor. Los residuos almacenados en el contenedor deberán ser retirados periódicamente por el servicio municipal de recolección de residuos sólidos para su disposición final en el relleno sanitario.

La sección transversal de las cámaras de rejillas fue dimensionada de manera de permitir una velocidad de flujo entre las rejillas no menor a 0.6 m/s ni mayor a 1.4 m/s. El espaciamiento entre los elementos metálicos de las rejillas fue establecido en 40 mm a fin de no afectar el funcionamiento de los equipos de impulsión del agua residual y el espesor de los referidos elementos metálicos están comprendidos entre 8 a 13 mm. La cantidad de material cribado y a ser retenido por las rejillas ha sido estimada en 15 litros por 1000 m<sup>3</sup> de agua residual tratada.

**c.- Medidor de caudal.-** Al ingreso a la estación elevadora de aguas residuales de la planta de tratamiento de El Cortijo, se ha construido un medidor de caudal tipo Khafagi-Venturi. Este medidor tiene la particularidad de poseer baja pérdida de carga y permitir mediciones confiables sin favorecer la sedimentación del material particulado y además de su fácil construcción. Las mediciones se pueden realizar directamente aguas arriba de la garganta o en la poza de medición situada a un lado del medidor. En la poza podrá instalarse un limnógrafo para el registro continuo de los caudales.

**d.- Vertedero de rebose y by-pass.-** La instalación proyectada contará con un vertedero de rebose que entrará en funcionamiento automáticamente si por alguna circunstancia fortuita los equipos de bombeo dejaran de operar, derivándose el agua residual cruda cribada a los canales de riego del CAP Laredo.

*e.- Estación elevadora de aguas residuales.-* La diferencia altimétrica entre la llegada del emisor y el nivel del espejo de agua, ha conducido a que se considere la necesidad de la construcción de una estación elevadora de las aguas residuales crudas.

La estación de bombeo y los equipos han sido diseñada para atender el caudal pico del año 2012 y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de las bombas, a fin de minimizar el fenómeno de cavitación, conseguir una obra económica y un mejor rendimiento de los equipos de bombeo. Al efecto, el agua cruda ingresará a una cámara de reparto desde donde se distribuirá a cada uno de los sectores de la estación elevadora.

A su vez, la cámara de reparto esta dotada de compuertas para aislar los sectores de la cámara húmeda y de este modo facilitar las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo de las unidades de bombeo o de la cámara propiamente dicha.

*f.- Lagunas de estabilización.-* El dimensionamiento de las lagunas aeradas facultativas se ha basado en el modelo matemático de O'Connor y Eckenfelder habiéndose efectuado dos balances independientes y relacionados con los niveles del substrato orgánico soluble (DBO) en el efluente y de la biomasa activa (SSVT). Los requerimientos de oxígeno para la síntesis y la respiración endógena se han calculado sobre la base de dos coeficientes.

El diseño de las lagunas de estabilización del tipo facultativo se ha efectuado aplicando dos tipos de metodologías: a) modelos matemáticos y b) modelos empíricos. Para la reducción de la carga orgánica (DBO) se ha seleccionado el modelo del CEPIS desarrollado por el Dr. Yáñez y para la reducción de la carga bacteriana el modelo de dispersión. Estos modelos fueron seleccionados en vista de que fueron desarrollados, calibrados y verificados para condiciones similares al área del proyecto.

Los criterios de diseño están basados en las siguientes consideraciones:

- Lagunas aeradas facultativas
 

Período de retención mínimo	1.57 días
Período de retención promedio	2.10 días
Profundidad máxima	4.0 m
Constante de asimilación de DBO	0.026 l/(mgXv/l-día)
Sólidos vía síntesis (a)	0.5 mg Xv/mg
DBO	
Respiración endógena (b)	0.12 l/d
Rendimiento del aerador	1.5 kg O <sub>2</sub> /kW-h
  
- Laguna secundaria ó facultativa
 

Profundidad	2.00 m
Tasa máxima aplicable (20°C)	380 kg.DBO5/ha
día	
	(según Yáñez)
Factor de seguridad	0.9
Tiempo de retención mínimo por laguna	4.85 días
Tiempo de retención promedio por laguna	6.3 días
  
- Temperatura ambiental
 

Promedio mínimo mensual	13 °C
Promedio máximo mensual	20 °C
  
- Tasa de decaimiento bacteriano
 

Neto	1.2-0.85 l/día
------	----------------

***g.- Estructuras de reparto.-*** La experiencia ha demostrado que el mal funcionamiento de muchos de los procesos de tratamiento está relacionado con la deficiente distribución del caudal afluente a causa del empleo de dispositivos de control poco confiables y que para un adecuado funcionamiento requieren de constantes ajustes.

A fin de garantizar la distribución proporcional de las aguas residuales, en el proyecto se han construido estructuras de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión que permiten la distribución del agua en forma proporcional al área superficial de cada uno de los reactores biológicos y en forma independiente a la variación del caudal de las aguas residuales crudas y/o tratadas que van a ser distribuidas a las lagunas aeradas.

Así mismo, en el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento. Al efecto, las estructuras de reparto cuentan con guías para la inserción de ataguías de clausura.

***h.- Estructuras de ingreso a las lagunas aeradas.-*** Luego de la distribución de las aguas, ellas discurrirán a cada reactor por canales independientes. La estructura de ingreso será del tipo ladera, es decir, la descarga se producirá próximo al borde del dique y la geometría de la estructura conducirá a que el agua ingrese violentamente de modo que alcance las líneas del flujo producido por el aerador más próximo. De este modo se minimizará la disposición del material sedimentado en la zona de ingreso de las aguas residuales crudas.

***i.- Estructuras de salida de las lagunas aeradas.-*** Esta conformado por un vertedero rectangular de pared gruesa y borde redondeado protegido por una pantalla destinada a impedir la salida del material flotante. La escotadura del vertedero se ha diseñado para que la carga hidráulica no sea mayor a 17 centímetros en el momento en que se encuentren trabajando tres bombas simultáneamente y una de las lagunas aeradas esté fuera de servicio por mantenimiento. Aun lado de la estructura del vertedero se ha diseñado una poza de 30 centímetros de diámetro para efectuar las mediciones del tirante de agua o para la instalación de un limnógrafo.

***j.- Canal de recolección y distribución.-*** El efluente de las lagunas aeradas será conducido por canales rectangulares y en las proximidades a los ingresos de las lagunas facultativas se han construido dispositivos de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión que permiten la distribución del agua en forma proporcional al área superficial de cada uno de las lagunas facultativas y en forma independiente de la variación del caudal de las aguas residuales efluentes de las lagunas aeradas.

Así mismo, en el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento.



Al efecto, las estructuras de reparto cuentan con guías para la inserción de las ataguías de clausura y de variación en la posición de la placa distribuidora de caudal para ajustar el caudal a las nuevas condiciones de trabajo.

***k.- Estructura de ingreso a las lagunas facultativas.-*** Las estructuras de ingreso a las lagunas facultativas son similares a las empleadas en los reactores mecanizados y se considera que por las características del efluente de las lagunas aeradas, los lodos se distribuyan más uniformemente en toda la extensión de la laguna de maduración.

***l.- Estructura de salida de las lagunas facultativas.-*** Teniendo en cuenta que el objetivo de las lagunas facultativas es la remoción de los sólidos sedimentables, huevos de parásitos y quistes de protozoarios, así como la reducción del contenido de coniformes, las estructuras de salida de las lagunas facultativas fueron diseñados aplicando el concepto de tasa de desborde. De otra parte, a fin de incrementar la eficiencia remocional de huevos de helmintos, las estructuras de salida de las lagunas facultativas están situadas distantes de la orilla y dotadas de pantallas para retener el material flotante y facilitar la adherencia de los huevos de ascaris.

Como medida de protección contra el desborde, cada estructura de salida cuenta con aliviaderos para el control del nivel máximo de agua en la laguna. Adicionalmente está dotada de una poza para la medición del caudal efluente a través de la determinación de la altura de agua sobre la cresta del vertedero.

***m.- Canal de recolección.-*** El efluente de cada laguna será recolectada por medio de canales que dispondrán las aguas residuales tratadas en los canales de riego de la Cooperativa Laredo o en los pertenecientes a los pequeños agricultores y para su aprovechamiento en actividades agrícolas. Los excedentes, serán dispuestos convenientemente al mar por medio del empleo del actual emisor de 1300 mm.

Los canales de recolección de las aguas residuales tratadas serán de forma trapecial y las que se encuentren al pie de los terraplenes de las lagunas serán recubiertas con losas de concreto a fin de no afectar la estabilidad de los diques.

*n.- Otros.-* Con el propósito de garantizar al funcionamiento ininterrumpido de los equipos electromecánicos, está considerado la instalación de un generador eléctrico accionado, a petróleo diesel. Esta unidad está ubicada en un ambiente próximo a la estación elevadora de aguas residuales y también servirá para suministrar energía eléctrica a los aeradores y cámara de rejillas. En el diseño de la estación de bombeo y del ambiente del generador, se ha considerado todos los elementos de seguridad para el personal encargado de la operación de los equipos.

Adicionalmente, la planta cuenta con un edificio de servicios compuesto de oficina, laboratorio de control de procesos, vestíbulo, servicios higiénicos y almacén. El suministro de agua potable se efectuará a partir de una cisterna y tanque elevado servido por medio de camión cisterna.

#### **2.4.3. MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CORTIJO**

La información obtenida directamente por el operador y archivada sin procesarla carece valor si no es adecuadamente condensada y presentada de modo que facilite su comprensión a la mayor parte de personas relacionadas con las labores de operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización, así como para la toma de decisiones relacionadas con el manejo de la planta de tratamiento, por parte de los niveles directivos.

El programa de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Covicorti, ha sido diseñado a partir del supuesto de que existirá una conveniente política de registro periódico de los parámetros operacionales recomendados.

En la selección de los parámetros, se ha tenido en cuenta el uso que se pudiera dar a la información recolectada, principalmente en lo relacionado con el aspecto de control y evaluación de los procesos de tratamiento. Cada parámetro seleccionado ha sido cuestionado con el objeto de optar únicamente por aquellos considerados estrictamente como indispensables.

or si sola la información de las observaciones de campo, meteorológicas u otras carecen de valor, si no se dispone de un adecuado sistema de recuperación, procesamiento y difusión, por lo que se estima conveniente que el Jefe de Planta asuma esta responsabilidad.

#### **2.4.3.1. Importancia de los registros**

Los registros en general son de mucha importancia y necesidad en las labores de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento por que permiten obtener información acerca de los siguientes aspectos:

- ✓ Eficiencia de los procesos de tratamiento;
- ✓ Efectividad del tipo y frecuencia de mantenimiento de los diferentes procesos con que cuenta la planta de tratamiento;
- ✓ Consideraciones para la modificación del plan de operación o mantenimiento;
- ✓ Evaluación del desempeño presente, así como de la información necesaria para el diseño de similares plantas de tratamiento;
- ✓ Justificación para la asignación presupuestaria de personal, requerimientos adicionales o equipamientos.
- ✓ Suministro de la información necesaria para la preparación de los reportes mensuales o anuales.

En el presente caso, se analiza y recomiendan los procedimientos necesarios para el manejo de las lagunas aeradas y estabilización propiamente dichas. En documento aparte se trata todo lo relacionado con los aspectos electromecánicos.

#### **2.4.3.2. Registros de operación o funcionamiento.-** Están compuestos por:

- Caudal que entra y sale de la planta de tratamiento
- Características fisico-químicas y biológicas de afluentes y efluentes

#### **2.4.3.3. Registros de mantenimiento.-** Están conformados por:

- Mantenimiento de planta
  - a) Registros de mantenimiento preventivo y correctivo
  - b) Mantenimiento de la edificación
  - c) Mantenimiento de lagunas, canales y diques
  
- Medición de medidores de caudal
  - a) Mantenimiento de estructuras de medición
  - b) Mantenimiento de sensores

**2.4.3.4. Registros de personal.-** Están conformados por:

- Registro de personal empleado
- Horas de trabajo por tareas
- Funciones
- Categorización
- Programas de adiestramiento

**2.4.3.5. Archivo de la información.-** Los registros deben ser permanentes, completos y exactos, y ser llenados con bolígrafo y nunca con lápiz de carboncillo, ya que pueden dar lugar a alteraciones o borrones resultando registros falsos que en muchos casos son de mayor peligro que aquellos datos no registrados. Además, las ocurrencias y operaciones realizadas durante el día, el operador debe anotarlos en el "libro de ocurrencias" en el momento oportuno y por ningún motivo al final de la jornada.

**2.4.3.6. Diseño de programas de muestreo y medición.-**El programa de muestreo y medición a ser aplicado en los sistemas de tratamiento de aguas residuales de Covicorti está dirigido a obtener información sobre tres campos:

- Control de procesos
- Aspectos económicos
- Criterio de diseño

El plan que se propone en el presente documento, es muy amplio de modo que puede ser adaptado a los requerimientos o intereses de la Institución o del Jefe de Planta.

#### **2.4.3.7. Control de procesos**

El control de los procesos es la vigilancia del conjunto de componentes o procesos que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales y que en el presente caso, es la atención prestada al comportamiento de las lagunas de estabilización.

El control de los procesos reviste gran importancia durante la puesta en funcionamiento y la fase rutinaria de operación del sistema de tratamiento. Básicamente, el procedimiento está conformados por un conjunto de mediciones físicas como: caudal, balance hidráulico, distribución de agua, etc.; determinaciones químicas tales como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, pH, demanda química de oxígeno y de otros parámetros complementarios y de gran interés en virtud que son importantes en la explicación de los fenómenos que inciden en el comportamiento de las lagunas de estabilización.

#### **2.4.4. LUGARES DE MUESTREO**

En la determinación de los lugares de muestreo se ha tenido en cuenta la importancia del punto de muestreo con respecto a la evaluación de la eficiencia de funcionamiento del proceso de tratamiento. En la figura N° 2.7 se indica los puntos seleccionados para la toma de muestras de los análisis físico - químico, bacteriológico y parasitológico.

Los puntos de muestreo seleccionados son:

1. Afluente a la planta de tratamiento. En el canal de alimentación a las lagunas aeradas.
2. Efluente de laguna aerada N° 1
3. Efluente de laguna aerada N°2
4. Efluente total de lagunas aeradas aguas arriba del repartidor 1

5. Efluente de laguna facultativa N° 1
6. Efluente de laguna facultativa N° 2
7. Efluente de laguna facultativa N° 3

#### **2.4.5. EQUIPOS DE ANÁLISIS REQUERIDOS**

Para la realización del muestreo y de las determinaciones de control operacional se requiere que la planta cuente como mínimo con el siguiente equipamiento:

- Medidor de pH portátil 2 unidades
- Medidor de oxígeno disuelto portátil 2 unidades
- Termómetros 2 unidades
- Linmígrafo 2 unidades
- Muestreadores automáticos 2 unidades

Como elementos de apoyo, el laboratorio necesitará contar con un equipo de producción de agua destilada, estufa e incubadora de DBO. De optarse por el nivel medio y avanzado, sería necesario complementarlo con equipos de digestión para DQO, nitrógeno total y amoniacal, así como de una mufla. Los análisis de coliforme total y coliforme fecal pudieran ser efectuados por el laboratorio de control de calidad de la empresa de agua. Adicionalmente, será necesario dotarlo de cristalería y de los reactivos necesarios para la realización de las pruebas analíticas.

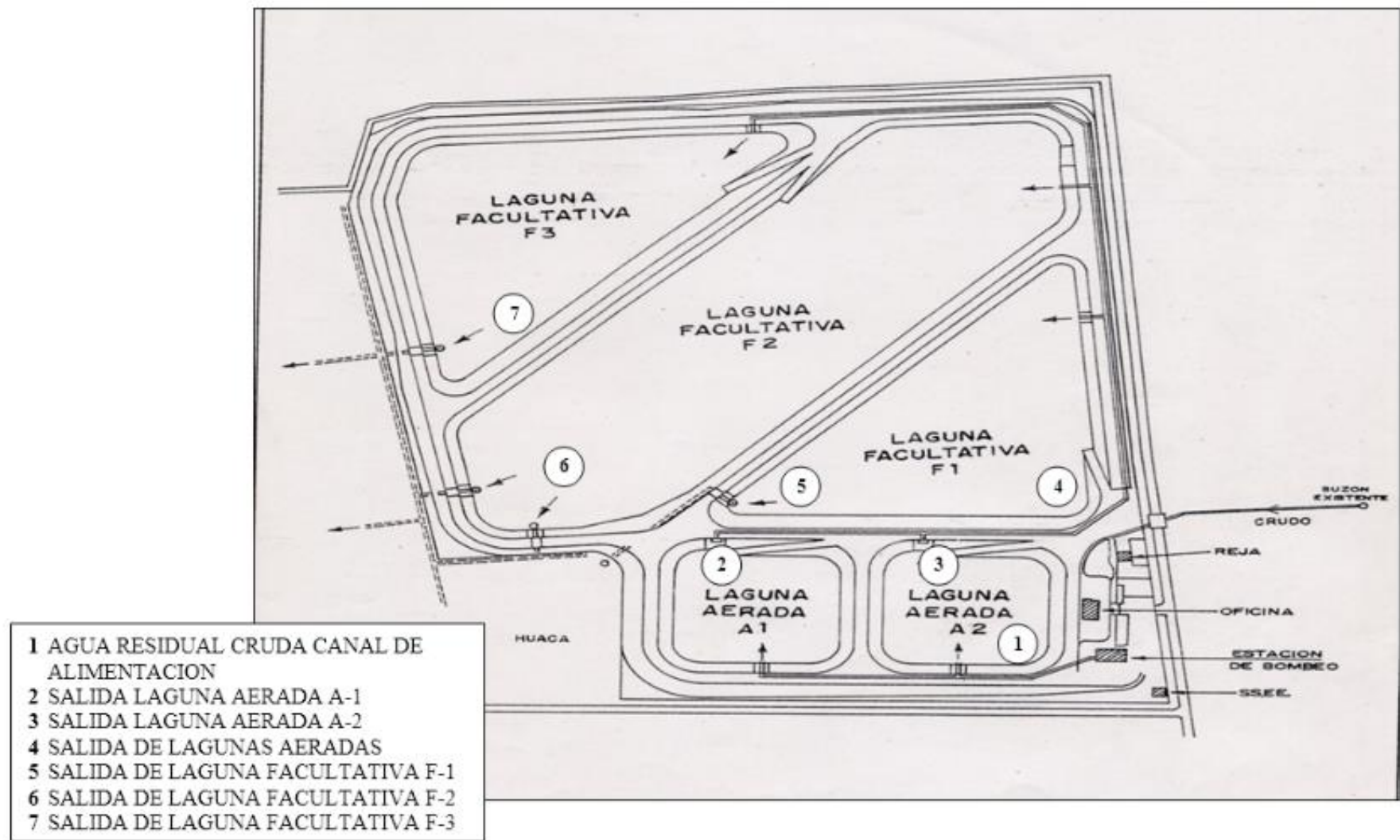


FIG. 2.7 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

## 2.5. PLANTA INTERNACIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NUEVO LAREDO, TAMAULIPAS



Nuevo Laredo, Tamaulipas. La ciudad de Nuevo Laredo está ubicada en el noreste mexicano, pertenece al estado de Tamaulipas, (Figura N° 2.8). Nuevo Laredo es una ciudad fronteriza que cuenta con tres puentes internacionales carreteros, que llegan a la ciudad de Laredo Texas. Las ciudades de Nuevo Laredo, Tamaulipas y Laredo, Texas mantienen un fuerte vínculo económico y cultural. Nuevo Laredo cuenta con una extensión territorial de 1,202 de los cuales 122 son urbanos (INEGI, 2013). Nuevo Laredo tiene un clima seco, la temperatura media es 23°C, la temperatura promedio máxima es 37°C y la mínima es de 8°C; aunque ha registrado temperaturas de 40°C; su precipitación media anual varía de los 472 a 485 (PARSONS, 2002; Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2011)





**FIG. 2.8 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE NUEVO LAREDO, TAM.**

La planta tratadora norponiente, con una capacidad de 200 litros por segundo, ofrece al momento tratamiento de 60 litros por segundo de aguas negras provenientes de las colonias Reservas Territoriales, Colorines y El Progreso.

Su objetivo es eliminar del agua residual, los contaminantes desechados de los hogares del poniente de la ciudad.

Para el tratamiento se utilizan procesos físicos, químicos, y biológicos, con los cuales se separan los sólidos, empleando unas rejillas, después un desarenador separando sólidos pesados, sigue la conversión progresiva donde a través de un reactor, se separa la materia orgánica, obteniendo agua clara, la cual se pone en contacto con el cloro para su desinfección, después se descarga en un cuerpo natural del caudal.

Nuevo Laredo cuenta con cuatro plantas tratadoras de aguas residuales, donde se tratan mil 100 litros por segundo; la de mayor volumen es la Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales.

Operan también el norponiente, la planta de Valles de Anáhuac y una más ubicada en Oradel.

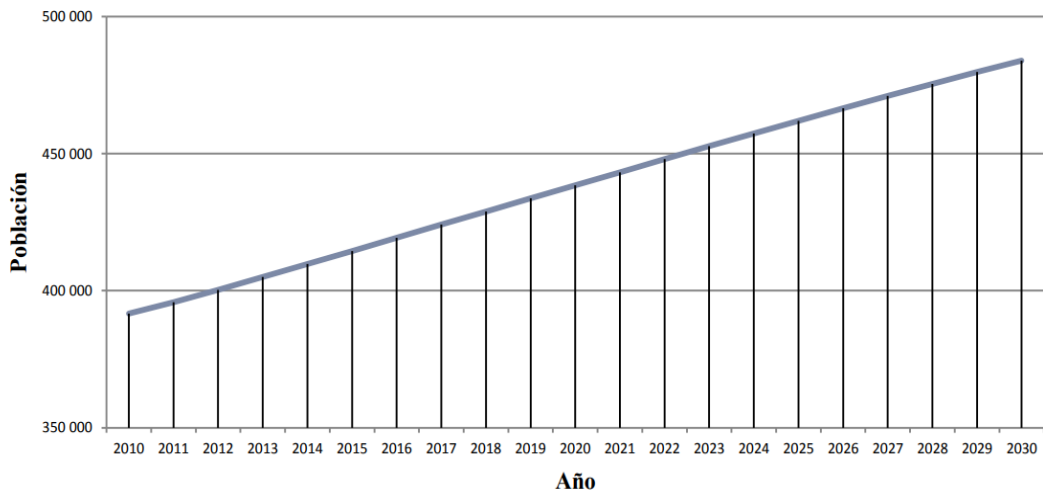
La ciudad de Nuevo Laredo fue fundada después del Tratado de Guadalupe Hidalgo de 1848, año en que lado Norte del Río Bravo dejó de ser mexicano. Los habitantes se trasladaron al lado sur del Río, ya que no estaban dispuestos a dejar sus tradiciones y costumbres (Ceballos, 1989). Sin embargo, durante mucho tiempo los habitantes de Laredo Texas y Nuevo Laredo Tamaulipas tuvieron libre tránsito entre estas ciudades. Todavía hoy en día el intercambio entre estas dos ciudades es importante para la región, y uno de los principales motores económicos y demográficos. La infraestructura económica de Nuevo Laredo está compuesta por actividades primarias, secundarias y terciarias con predominio de estas últimas. La agricultura apenas contabiliza 14 mil hectáreas sembradas que en su mayoría son de pasto para ganado; pocas en comparación con otras ciudades fronterizas de Tamaulipas; por ejemplo, existen 158 mil hectáreas sembradas en Matamoros o 83 mil en Reynosa (INEGI, 2013). Las actividades económicas de servicio representan la principal actividad, en Nuevo Laredo (INEGI, 2013).

Lo anterior a consecuencia de que Nuevo Laredo es el principal puerto terrestre de la república mexicana (PARSONS, 2002).

Su importancia para el comercio con los Estados Unidos hace que la población de Nuevo Laredo registre un crecimiento por arriba del promedio nacional en las últimas décadas. La estructura económica de Nuevo Laredo atrae una fuerte migración de otras partes de la república. La estimación de la Comisión Nacional de Población Conapo para Nuevo Laredo se refleja en la figura 2.9.

En la figura se observa un crecimiento lineal, con una tasa de crecimiento del 2010 al 2020 de 0.12 (Conapo, 2012). Esto debe ser tomado en cuenta por el municipio para garantizar los servicios públicos. Ya que según INEGI en el censo del 2010 Nuevo Laredo, Tam., tenía una población total de 384,033 habitantes (INEGI, 2013). Se contabilizaron 101,841 viviendas de las cuales 90,682 cuentan con servicio de agua, y que 90,7777 viviendas cuentan con servicio de drenaje; es decir un 89% de cobertura (INEGI, 2011).

### Proyecciones de Población 2010-2030 Nuevo Laredo



**FIG. 2.9 ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL EN NUEVO LAREDO.**

La Comisión Municipal para el Agua Potable y Saneamiento del Municipio de Nuevo Laredo Tamaulipas. La institución encargada de abastecer de servicios de agua potable y saneamiento a la ciudad de Nuevo Laredo, es la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento del Municipio de Nuevo Laredo, Tam. (Comapa). La Comapa tiene una cobertura del servicio de agua potable de 98%, mientras que en el servicio de alcantarillado reporta un 95%; en ambos servicios la Comapa supera la media nacional.

Los datos que maneja la Comapa en cuanto a cobertura de los servicios difieren de los que reporta INEGI, por calidad de la información directa en este trabajo se reportan los datos proporcionados por la Comapa.

Este organismo operador construyó en 1926 la primera planta de potabilización con capacidad de 100 lt/seg teniendo como única fuente de abastecimiento el agua superficial del Río Bravo. En 1951 aumentó la capacidad de potabilización a 300 lt/seg (Comapa Nuevo Laredo, 2012).

En 1957 fue rediseñada a la configuración actual, para abastecer del servicio de agua potable. No obstante, fue hasta 1988 que se creó un plan para el cumplimiento de todo el CUA, dicho plan culminó en el año 2000.

La necesidad de plantas tratadoras de aguas residuales en el municipio es evidente pues la Comapa descargaba 876 lt/seg de aguas residuales no tratadas al Río Bravo. El 28 de agosto de 1989 se firmó el Acta 279 de la CILA titulada “Medidas Conjuntas para Mejorar la Calidad de las Aguas del Río Bravo en Nuevo Laredo, Tamaulipas- Laredo, Texas”. En dicha acta quedaron establecidas las condiciones particulares de descarga, acordadas por ambas partes del CILA. Fue así como inició el Proyecto Internacional de Saneamiento Fronterizo de Nuevo Laredo con la construcción de 6 compones que incluyó rehabilitaciones y ampliaciones de la red de alcantarillado, colectores principales y una Planta de Tratamiento. De ese modo en Abril de 1996 se puso en marcha la Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales de Nuevo Laredo, Tam. (Comapa Nuevo Laredo, 2012).

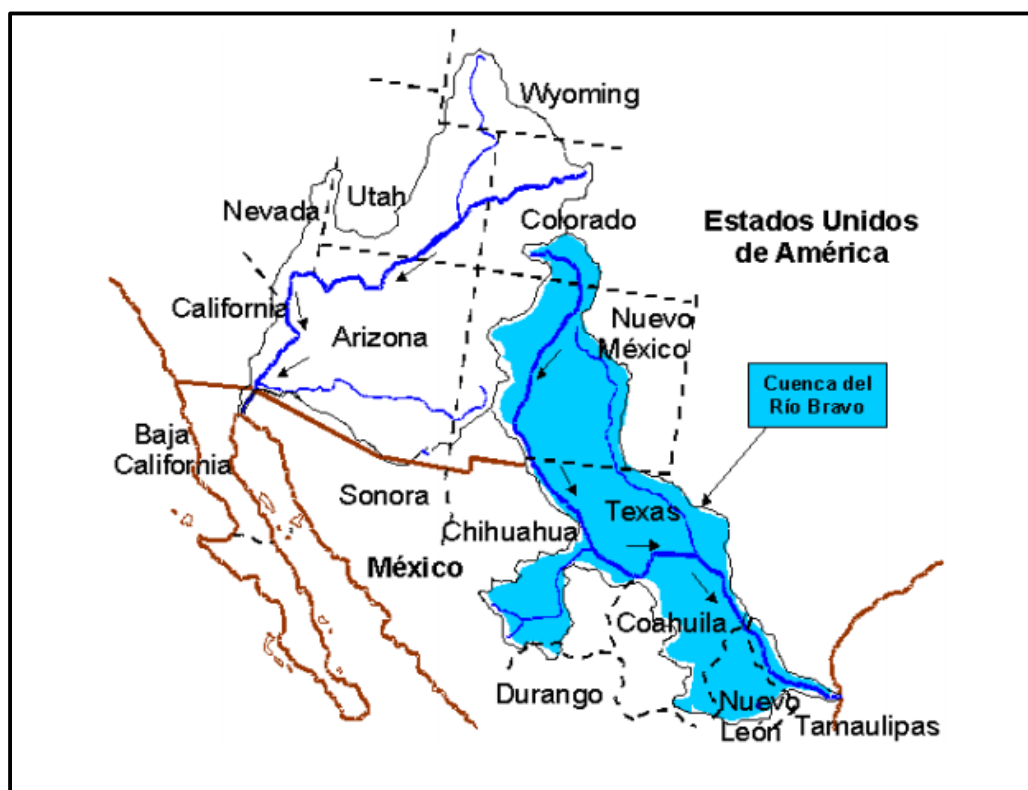
Plantas de Tratamiento de aguas residuales	Capacidad $l/s$	Tratamiento Real $l/s$	Equivalente % del agua tratada en Nuevo Laredo
PITARNL	1360	900	<b>90.73</b>
Norponiente	200	58	5.85
Valles de Anáhuac	33	26	2.62
Oradel	9	5	.50
Villas de Oradel	15	3	.30
<b>TOTAL</b>	<b>1611</b>	<b>992</b>	<b>100</b>

**CUADRO 2.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NUEVO LAREDO.**

Hoy en día la Comapa cuenta con dos plantas potabilizadoras y cinco Plantas de Tratamiento de Aguas residuales (CEAT, 2013) cuadro 2.3, con el fin de cumplir con el saneamiento del CUA de Nuevo Laredo. De acuerdo con la información que recaba la CONAGUA, a diciembre de 2010 existían en el país 2,186 PTAR en operación formal, con una capacidad total instalada de 126.8 lt/seg, sin embargo solo se tratan 93.6 lt/seg, equivalente al 44.8% del total de aguas residuales. De todas las plantas dentro del inventario de CONAGUA tres se denominan plantas tratadoras de aguas residuales internacionales que fueron financiadas conjuntamente entre México-EUA, ubicadas en Tijuana, Baja California, Nogales, Arizona y Nuevo Laredo, Tamaulipas, (CILA, 2012).

## **Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales de Nuevo Laredo Tamaulipas.**

El municipio de Nuevo Laredo cuenta únicamente con 644 unidades manufactureras, a diferencia de la también ciudad fronteriza en el estado de Chihuahua Cd. Juárez que cuenta con 2,315 unidades, son pocas. (INEGI, 2010). De estas 644 unidades manufactureras solamente 32 utilizan agua en sus procesos por lo que las aguas residuales generadas son principalmente de origen comercial y doméstico. Aunada a esto la Comapa exige el pretratamiento a empresas que lo necesitan antes de descargar en el drenaje, así como trampas de grasas a los comercios pertinentes. De ese modo garantiza que el tratamiento biológico que se da en la PITARNL sea exitoso. Un factor importante que se debe tener en cuenta para el análisis de la PITARNL es su condición Internacional. El efluente de la PITARNL descarga en la zona de inundación del Río Bravo, un cuerpo de agua binacional compartido por México y EUA desde el Tratado de Agua de 1944. El Río Bravo es emblemático por su historia, importancia cultural, económica y social. Además el Río Bravo funciona como límite fronterizo de México y Estados Unidos. En la figura 2.10 se aprecia la cuenca del Río; nace en el estado de Colorado en EUA y recorre 2,900 kilómetros antes de terminar en el Golfo de México (Enríquez, 2003). Pero a pesar de dicha importancia el Río Bravo fue considerado en el 2009 como uno de los 10 ríos más contaminados en el mundo, según el Fondo Nacional para la Naturaleza (Berrios, 2009). Pese a que tanto para Nuevo Laredo, Tam., como para Laredo Txs., es la única fuente de agua para abastecer los CUA's correspondientes (López, 2014).



**FIG. 2.10 CUENCA DEL RIO BRAVO.**

La PITARNL se encuentra en operación desde su puesta en marcha conforme a los acuerdos establecidos en el Acta 297 de la CILA titulada “Programa de Operación y Mantenimiento, y la Distribución de sus Costos, del Proyecto Internacional para Mejorar la calidad de las Aguas del Río Bravo en Nuevo Laredo, Tamaulipas - Laredo, Texas” (CILA, 2012), en la cual se establecen los parámetros que debe cumplir el efluente (cuadro 2.4) y otras especificaciones, como que los lodos son responsabilidad mexicana.

Parámetro	Condiciones de descarga agua tratada
Oxígeno Disuelta	No menor de 2 mg/l
pH	6-9
Coliformes fecales	En 30 días 200 colonias/100 ml
SS	30 días 20 mg/l
DBO <sub>5</sub>	30 días 20 mg/l

**CUADRO 2.4. PARAMETROS QUE DEBEN CUMPLIR EL EFLUENTE DE LA PITARNL.**

La importancia de mantener una buena calidad del efluente de la PITARNL se debe a que el agua del Río Bravo tiene usos importantes en la cuenca abajo. Por ejemplo, para el abastecimiento de algunas poblaciones, actividades económicas como la agricultura, ganadería, generación de energía, incluso uso recreativo; además el agua del río cumple con funciones ambientales. Con la descarga de las aguas tratadas al Río Bravo, se efectúa la reincorporación de una de las salidas de la PITARNL. Esta reincorporación de agua a la cuenca del Río Bravo es de suma importancia para Nuevo Laredo y toda la región fronteriza.

### **2.5.1. TECNOLOGIA DE LA PLANTA INTERNACIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NUEVO LAREDO.**

La PITARNL está localizada en sur oriente de la ciudad en la confluencia del Arroyo Coyote, dentro de la zona de inundación del Río Bravo. Está diseñada para tratar 1360 lt/seg de agua típica municipal. La PITARNL como parte de su sistema eléctrico cuenta con dos subestaciones 1500 KVA a 440/254 volts y otros transformadores para abastecer las necesidades de las oficinas (Watergy, 2014). La PITARNL cuenta con cuatro fases generales para su funcionamiento (figura 2.11). La primera fase es la denominada, pretratamiento u obra de cabeza. Luego viene el tratamiento secundario, que es a base de lodos activados con la variante de zanjas de oxidación. Después está la fase de cloración, para el efluente antes de la salida de la PITARNL. Finalmente está el tratamiento de los lodos residuales. La información proviene del manual de operaciones, propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, corregido y aprobado por la Comapa y la CILA.

#### **2.5.1.1. Pretratamiento.**

El propósito general del pretratamiento es la remoción de material voluminoso que llega con el agua residual cruda. Toda basura mayor a 2 cm de grosor que no logra pasar por las rejillas es retirada, ya que podrían dañar el equipo por el que circula posteriormente. La estructura del pretratamiento está constituida por lo siguiente:

**a) Dos sopladores de aire**, estos dan el aire necesario para mantener suspendidos los sólidos en el agua y evitar el agotamiento de oxígeno.

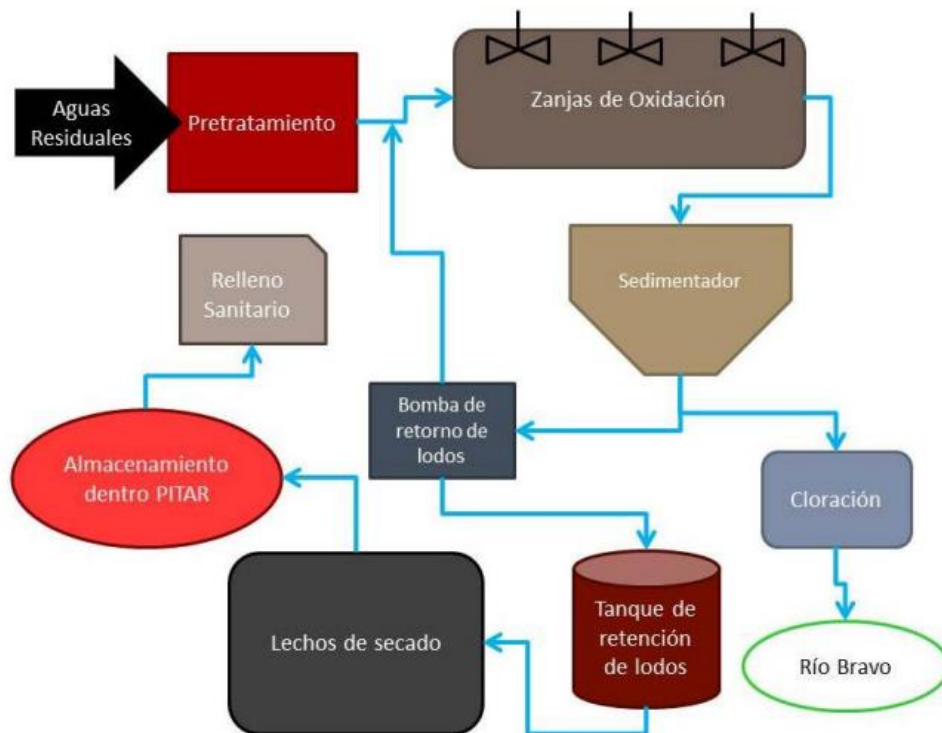
b) **Dos rejillas de barra de limpieza mecánica** con el fin de eliminar los sólidos grandes mayores a 20. Cuenta con dos rastrillos mecánicos accionados por motores de 5Hp para eliminar los residuos y depositarlos sobre la banda transportadora para que lleguen a un depósito o contenedor.

c) **Cuenta con una rejilla manual**, que será utilizada cuando alguna de las mecánicas no esté en servicio o las condiciones del agua, así lo requieran.

d) **Dos desarenadores tipo vórtice**, dos mecanismos de transmisión y dos bombas de arena. Periódicamente la arena acumulada será vaciada a la tolva.

e) **Cuatro rejillas finas de remoción de colección de arena**, estas ayudan a la limpieza de la tolva para retirar la arena acumulada.

f) **Banda transportadora**, ésta lleva los sólidos retenidos en las rejillas de barra y la arena removida de las rejillas de remoción de colección de arena.



**FIG. 2.11 DIAGRAMA PITARNL**



### 2.5.1.2. Tratamiento Secundario

En el tratamiento secundario se elimina la materia orgánica presente en las aguas residuales. LA PITARNL incluye seis zanjas de oxidación, una caja de distribución de flujo, cuatro clarificadores secundarios y los correspondientes accesorios.

**a) Seis zanjas de oxidación**, cada zanja de oxidación mide 98.6 de longitud, 38.4 de ancho y 6.7 de altura. Tiene una capacidad hidráulica individual de 17850.7 m<sup>3</sup>.

**b) Dieciocho aireadores mecánicos**, tres por cada zanja. Suministran el aire al flujo de agua residual para garantizar el oxígeno para la creación lodos activados. Cada aireador es accionado por una por un motor de 150hp, la cantidad mínima de oxígeno que debe inyectar es de 2.13 kg.

**c) Una caja de distribución de flujo**, controla el flujo que se vierte de cada zanja de oxidación, así los clarificadores. Es un sistema de compuertas, que al abrir o cerrar cada una de estas, permite pasar al flujo por tuberías individuales y entrar en el centro de cada clarificador secundario.

**d) Cuatro clarificadores secundarios**, cada uno mide 50 de diámetro, con un vertedor para el efluente de 47.8 metros de diámetro y una profundidad de 6.35 metros. El influente sube por la tubería para entrar por la parte central del clarificador. El licor mezclado choca contra una placa deflectora que distribuye el agua de manera homogénea sobre toda la superficie del clarificador. Mientras que los lodos son arrastrados hacia el centro del clarificador y se colectan en la tolva central. Algunos son bombeados hacia la obra de cabeza, mientras que el resto son enviados al tanque de retención de lodos.

### 2.5.1.3. Cloración

Instalaciones en las que se aplica el cloro como desinfectante, se asegura que no ingresen al río niveles dañinos de organismos patógenos. Están divididas en dos estructuras, el edificio de cloración, sitio destinado para los evaporadores, cloradores y los cilindros de cloro. Y los tanques de contacto de cloro, los cuales incluyen la cámara de inyección.

**a) Cámara de inyección de la solución de cloro**, mide 10.3 de longitud y 2.4 de profundidad. La cámara está dividida en dos secciones, para aislar el flujo de ser necesario.

**b) Dos tanques de contacto con cloro**. Cada uno mide 32.7 de longitud, 14 de ancho y 3.6 de profundidad, cuenta con 11 mamparas alternadas y perpendiculares a las paredes. El acomodo de las mamparas es para asegurar un contacto adecuado del cloro por 30 minutos.

**c) Canal Parshall**, el cual tiene la finalidad de tener la medición del efluente que está por salir de la PITARNL. Para cuantificar el flujo hay que medir la profundidad del agua corriente arriba de la constricción (garganta) en el canal con rayos laser y grafica de forma automatizada los resultados en forma logarítmica, en caso necesario se puede cotejar esta medida con una curva de calibración específica para esta instalación.

**d) Cilindros de cloro**, la planta puede almacenar hasta 26 tanques de cloro, pero en todo momento debe de haber 18 tanques llenos de cloro, cada cilindro contiene aproximadamente 908 de cloro líquido.

**e) Dos evaporadores de cloro**, cada uno tiene capacidad de 6000 lb/día, es decir que cada uno puede emitir suficiente gas cloro a los cloradores.

**f) Dos cloradores**, los evaporadores mandan el gas cloro por ductos hasta los cloradores. Por su parte el personal debe estar atento a la cantidad de cloro que se aplica para que se lleve a cabo la desinfección de forma correcta.

**g) Oxigenación y eliminación de cloro residual.**

#### **2.5.1.4. Manejo de lodos**

Consiste en dos estaciones de bombeo de retorno de lodos, un tanque rectangular de concreto armado para la digestión anaerobia y espesamiento de los lodos y 80 lechos de secado de concreto armado, con camas de filtro de grava-arena graduada.

**a) Dos estaciones de bombeo de retorno de lodos de desecho**, cada una cuenta con tres bombas para extraer los lodos sedimentados de los sedimentadores secundarios,

un porcentaje se envía a las instalaciones de cabeza para que se mezclen con las aguas crudas, mientras que el resto se envía al tanque de retención de lodos de desecho.

**b) Tanque de retención de lodos de purga**, cuenta con dos celdas individuales a las que llega el lodo de retorno procedente de las bombas de retorno de lodos, para enviarlos posteriormente a los lechos de secado.

**c) Tres bombas de lodos de purga de desplazamiento tipo tornillo**, colocadas junto al tanque de retención de lodos para enviar los lodos a los lechos de secado.

**d) Tres sopladores de aire de desplazamiento positivo**, la función es inyectar aire al tanque de retención con el fin de propiciar la biodegradación final de la materia orgánica, digestión aerobia de los lodos, así como eliminar malos olores provenientes de los lodos. El tiempo aproximado de retención es de 12 horas, antes de pasar a los lechos de secado.

**e) 80 lechos de secado**, cada uno tiene dos tuberías perforadas de PVC, cubierta por varias capas de grava y arena graduada. El 90% de los lodos es agua, la cual se filtra, para ser devueltos a la estación de bombeo de la PITARNL. El tiempo de retención de los lodos en los lechos es de aproximadamente de 3 semanas en condiciones normales de clima. El manejo de los lodos de la PITARNL, consiste en un tanque rectangular de concreto armado para el espesamiento y digestión aerobia de los lodos y 80 lechos de secado de concreto armado, con camas de filtro de arena y grava graduada. Los lodos tratados deben cumplir la norma mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (cuadro 2.5, 2.6 y 2.7) ya que su disposición final es en territorio mexicano (CILA, 2012), asumiendo que los lodos solo afectan al lado mexicano.

Contaminante (determinadas en forma total)	Excelentes Mg/Kg en base seca	Buenos Mg/Kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7 500

**CUADRO 2.5. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE METALES PESADOS EN BIO-SÓLIDOS DE LA NOM.004-SEMARNAT-2002.**

Sin embargo, se debe notar que el cumplimiento de las normas mexicanas no garantiza un medio ambiente sano, ya que, aunque se cumpla con la norma puede presentar contaminación, pues existen contaminantes que la norma no contemplaba, afectando la salud de los ecosistemas. De ahí la importancia de dar una estabilización de los patógenos en los lodos residuales y obtener un beneficio de los mismos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación Coliformes fecales NMP/g en base seca	Patógenos Salmonella spp. NMP/g en base seca	Parásitos Huevos de Helminthos/g en base seca (a) variables
A	< 1 000	< 3	< 1 (a)
B	< 1 000	< 3	< 10
C	< 2 000 000	< 300	< 35

**CUADRO 2.6. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA PATÓGENOS EN LODOS Y BIO-SÓLIDOS DE LA NOM-004-SEMARNART- 2002**

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usos Urbanos con contacto público directo durante su aplicación</li> <li>✓ Los establecidos para B y C</li> </ul>
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usos urbanos son contacto público directo durante su aplicación</li> <li>✓ Los establecidos para C</li> </ul>
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usos forestales</li> <li>✓ Mejoramiento de suelos</li> <li>✓ Usos agrícolas</li> </ul>

**CUADRO 2.7. APROVECHAMIENTO DE LOS BIO-SÓLIDOS, NOM-004-SEMARNAT-2002.**

Una de las principales desventajas de la forma de manejo actual de los lodos en la PITARNL es el espacio insuficiente, tanto en los lechos de secado, como el espacio de almacenamiento dentro de la PITARNL, antes de la disposición final en el relleno sanitario; así como los impactos ambientales potenciales que tiene puesto que son considerados como desechos.

La digestión aerobia está contemplada dentro del manual para el manejo de lodos que propone CONAGUA (CONAGUA, 2007); y que es una de las técnicas más usadas, puesto que los lodos digeridos pueden ser empleados como fertilizante. Sin embargo, las desventajas de la digestión aerobia es que su proceso es altamente influenciado por las condiciones ambientales, libera GEI, así como altos costos de energía y

mantenimiento (CONAGUA, 2007). El consumo energético del manejo de lodos se suma la cantidad de energía eléctrica que consume el proceso de la PITARNL, por lo que fomenta el estado de estrés entre agua y energía. Por otro lado, existe la posibilidad de utilizar el potencial energético de los lodos que podría dentro de la misma PITARNL.

Mediante la producción de biogás, por medio de la digestión anaerobia, aprovechando los sólidos suspendidos volátiles (Metcalf & Eddy, 1994). A su vez el biogás puede ser transformado por medio de cogeneración en corriente eléctrica, lo que desplazaría la energía. La corriente eléctrica podría aprovecharse dentro de la misma PITARNL, ya que el consumo de energía es parte esencial del funcionamiento de la planta (cuadro 2.8). Se tendría que explorar la posibilidad de utilizar la energía generada en los clarificadores o bien, cumplir con las especificaciones que Comisión Federal de Electricidad exige para inyectar la energía a la red. De esa forma se reincorporarían los lodos residuales, se disminuyen las emisiones de GEI por la energía y se contribuiría al cierre del CUA en Nuevo Laredo.

Área	Consumo <i>KW/Hr</i>	Porcentaje
Estación de bombeo	230 360	30.3836%
Obra de cabeza	19 091	2.5180%
Zanjas de Oxidación	411 676	54.2986%
Clarificadores	1 881	0.24810%
Estación de bombeo de retorno de lodos	48 791	6.4354%
Cloración	15 800	2.0840%
Tanque de lodos de desecho	4 501	0.5937%
Áreas Generales	26 026	3.4327%
<b>Total</b>	<b>758 171</b>	<b>100%</b>

### **CUADRO 2.8. GASTO ENERGÉTICO DE LA PITARNL POR ÁREAS DE PROCESO.**

Recapitulando, en este trabajo se plantea que la PITARNL debe contar con un manejo de lodos sostenible, mediante la reincorporación de los lodos residuales a través de la generación de energía renovable, disminuyendo así las emisiones de GEI. Esta opción es sumamente necesaria dado que actualmente la PITARNL trabaja al 75% de su capacidad y con el fuerte crecimiento demográfico que presenta Nuevo Laredo, alcanzará su máxima capacidad de diseño en el año 2016. Por otro lado los costos del

manejo de lodos pueden llegar a representar hasta un 25% del costo de operación de la planta (Howard, et al., 1979). En la PITARNL el manejo de lodos actual es 180 pesos por metro cubico de lodo residual, ya que según información proporcionada por la CILA, en 2013 el gasto por disposición de lodos fue de 184,202.32 pesos Un buen manejo reduciría esos costos o compensaría con alguna utilidad generada por su aprovechamiento.

## **2.6. PARÁMETROS DE DISEÑO.**

### **2.6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE PERÚ.**

El requisito fundamental antes de proceder al diseño preliminar o definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales, es haber realizado el estudio del cuerpo receptor. El estudio del cuerpo receptor deberá tener en cuenta las condiciones más desfavorables. El grado de tratamiento se determinará de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor.

En el caso de aprovechamiento de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, el grado de tratamiento se determinará de conformidad con los requisitos de calidad para cada tipo de aprovechamiento de acuerdo a la norma.

Una vez determinado el grado de tratamiento requerido, el diseño debe efectuarse de acuerdo con las siguientes etapas:

Estudio de factibilidad, el mismo que tiene los siguientes componentes:

- Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales;
- Información básica (geológica, geotécnica, hidrológica y topográfica);
- Determinación de los caudales actuales y futuros;
- Aportes per cápita actuales y futuros;
- Selección de los procesos de tratamiento;
- Predimensionamiento de alternativas de tratamiento;
- Evaluación de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres;
- Factibilidad técnico económica de las alternativas y selección de la más favorable.

Diseño definitivo de la planta que comprende

- Estudios adicionales de caracterización que sean requeridos;

- Estudios geológicos, geotécnicos y topográficos al detalle;
- Estudios de tratabilidad de las aguas residuales, con el uso de plantas a escala de laboratorio o piloto, cuando el caso lo amerite;
- Dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la planta;
- Diseño hidráulico sanitario;
- Diseño estructural, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
- Planos y memoria técnica del proyecto;
- Presupuesto referencial y fórmula de reajuste de precios;
- Especificaciones técnicas para la construcción y
- Manual de operación y mantenimiento.

Según el tamaño e importancia de la instalación que se va a diseñar, se podrán combinar las dos etapas de diseño mencionadas, previa autorización de la autoridad competente.

Toda planta de tratamiento deberá contar con cerco perimétrico y medidas de seguridad.

De acuerdo al tamaño e importancia del sistema de tratamiento, deberá considerarse infraestructura complementaria: casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, vivienda del operador y otras instalaciones que señale el organismo competente. Estas instalaciones serán obligatorias para aquellos sistemas de tratamiento diseñados para una población igual o mayor de 25000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia.

#### **2.6.1.1 Normas para los estudios de factibilidad**

Los estudios de factibilidad técnico-económica son obligatorios para todas las ciudades con sistema de alcantarillado.

Para la caracterización de aguas residuales domésticas se realizará, para cada descarga importante, cinco campañas de medición y muestreo horario de 24 horas de duración y se determinará el caudal y temperatura en el campo. Las campañas deben efectuarse en días diferentes de la semana. A partir del muestreo horario se conformarán muestras compuestas; todas las muestras deberán ser preservadas de

acuerdo a los métodos estándares para análisis de aguas residuales. En las muestras compuestas se determinará como mínimo los siguientes parámetros:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20°C;
- Demanda química de oxígeno (DQO);
- Coliformes fecales y totales;
- Parásitos (principalmente nematodos intestinales);
- Sólidos totales y en suspensión incluido el componente volátil;
- Nitrógeno amoniacal y orgánico; y
- Sólidos sedimentables.

Se efectuará el análisis estadístico de los datos generados y si son representativos, se procederá a ampliar las campañas de caracterización.

Para la determinación de caudales de las descargas se efectuarán como mínimo cinco campañas adicionales de medición horaria durante las 24 horas del día y en días que se consideren representativos. Con esos datos se procederá a determinar los caudales promedio y máximo horario representativos de cada descarga. Los caudales se relacionarán con la población contribuyente actual de cada descarga para determinar los correspondientes aportes per cápita de agua residual. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema de alcantarillado, se calcularán los caudales domésticos e industriales por separado. De ser posible se efectuarán mediciones para determinar la cantidad de agua de infiltración al sistema de alcantarillado y el aporte de conexiones ilícitas de drenaje pluvial. En sistemas de alcantarillado de tipo combinado deberá estudiarse el aporte pluvial.

En caso de sistemas nuevos se determinará el caudal medio de diseño tomando como base la población servida, las dotaciones de agua para consumo humano y los factores de contribución contenidos en la norma de redes de alcantarillado, considerándose además los caudales de infiltración y aportes industriales.

Para comunidades sin sistema de alcantarillado, la determinación de las características debe efectuarse calculando la masa de los parámetros más importantes, a partir de los aportes per cápita según se indica en el siguiente cuadro.



APORTES PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARÁMETROS	
- DBO 5 días, 20°C, g / (hab.d)	50
- Sólidos en suspensión, g / (hab.d)	90
- NH <sub>3</sub> - N como N, g / (hab.d)	8
- N Kjeldahl total como N, g / (hab.d)	12
- Fósforo total, g/(hab.d)	3
- Coliformes fecales. N° de bacterias / (hab.d)	$2 \times 10^{11}$
- Salmonella Sp., N° de bacterias / (hab.d)	$1 \times 10^8$
- Nematodos intes., N° de huevos / (hab.d)	$4 \times 10^5$

En las comunidades en donde se haya realizado muestreo, se relacionará la masa de contaminantes de DBO, sólidos en suspensión y nutrientes, coliformes y parásitos con las poblaciones contribuyentes, para determinar el aporte per cápita de los parámetros indicados.

El aporte per cápita doméstica e industrial se calculará por separado. En ciudades con tanques sépticos se evaluará el volumen y masa de los diferentes parámetros del lodo de tanques sépticos que pueda ser descargado a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esta carga adicional será tomada en cuenta para el diseño de los procesos de la siguiente forma:

- Para sistemas de lagunas de estabilización y zanjas de oxidación, la descarga será aceptada a la entrada de la planta.
- Para otros tipos de plantas con tratamiento de lodos, la descarga será aceptada a la entrada del proceso de digestión o en los lechos de secado.

Con la información recolectada se determinarán las bases del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se considerará un horizonte de diseño (período de diseño) entre 20 y 30 años, el mismo que será debidamente justificado ante el organismo competente. Las bases de diseño consisten en determinar para condiciones actuales, futuras (final del período de diseño) e intermedias (cada cinco años) los valores de los siguientes parámetros.

- Población total y servida por el sistema;
- Caudales medios de origen doméstico, industrial y de infiltración al sistema de alcantarillado y drenaje pluvial;
- Caudales máximo y mínimo horarios;

- Aporte per cápita de aguas residuales domésticas;
- Aporte per cápita de DBO, nitrógeno y sólidos en suspensión;
- Masa de descarga de contaminantes, tales como: DBO, nitrógeno y sólidos; y
- Concentraciones de contaminantes como: DBO, DQO, sólidos en suspensión y coliformes en el agua residual.

El caudal medio de diseño se determinará sumando el caudal promedio de aguas residuales domésticas, más el caudal de efluentes industriales admitidos al sistema de alcantarillado y el caudal medio de infiltración. El caudal de aguas pluviales no será considerado para este caso.

Los caudales en exceso provocados por el drenaje pluvial serán desviados antes del ingreso a la planta de tratamiento mediante estructuras de alivio.

En ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento. El tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga, deberá ser el tratamiento primario.

Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a la selección de los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos. Se dará especial consideración a la remoción de parásitos intestinales, en caso de requerirse. Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad, reduciendo al mínimo la mecanización y automatización de las unidades y evitando al máximo la importación de partes y equipos.

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log10)	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

Para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los valores del cuadro siguiente:

- (a) Precedidos y seguidos de sedimentación.
- (b) Incluye laguna secundaria.
- (c) Dependiente del tipo de lagunas.
- (d) Seguidas de sedimentación.
- (e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

Una vez seleccionados los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos, se procederá al dimensionamiento de alternativas. En esta etapa se determinará el número de unidades de los procesos que se van a construir en las diferentes fases de implementación y otros componentes de la planta de tratamiento, como: tuberías, canales de interconexión, edificaciones para operación y control, arreglos exteriores, etc. Asimismo, se determinarán los rubros de operación y mantenimiento, como consumo de energía y personal necesario para las diferentes fases.

En el estudio de factibilidad técnico-económica se analizarán las diferentes alternativas en relación con el tipo de tecnología: requerimientos del terreno, equipos, energía, necesidad de personal especializado para la operación, confiabilidad en operaciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. Se analizarán las condiciones en las que se admitirá el tratamiento de las aguas residuales industriales. Para el análisis económico se determinarán los costos directos, indirectos y de operación y mantenimiento de las alternativas, de acuerdo con un método de comparación apropiado. Se determinarán los mayores costos del tratamiento de efluentes industriales admitidos y los mecanismos para cubrir estos costos.

En caso de ser requerido, se determinará en forma aproximada el impacto del tratamiento sobre las tarifas. Con esta información se procederá a la selección de la alternativa más favorable.

Los estudios de factibilidad deberán estar acompañados de evaluaciones de los impactos ambientales y de vulnerabilidad ante desastres de cada una de las alternativas, así como las medidas de mitigación correspondientes.

#### **2.6.1.2 Normas para los estudios de ingeniería básica**

El propósito de los estudios de ingeniería básica es desarrollar información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se pueden realizar en este nivel se encuentran:

Estudios adicionales de caracterización de las aguas residuales o desechos industriales que pueden requerirse para obtener datos que tengan un mayor grado de confianza.

Estudios geológicos y geotécnicos que son requeridos para los diseños de cimentación de las diferentes unidades de la planta de tratamiento. Los estudios de mecánica de suelo son de particular importancia en el diseño de lagunas de estabilización, específicamente para el diseño de los diques, impermeabilización del fondo y movimiento de tierras en general.

De mayor importancia, sobre todo para ciudades de gran tamaño y con proceso de tratamiento biológico, son los estudios de tratabilidad, para una o varias de las descargas de aguas residuales domésticas o industriales que se admitan.

La finalidad de los estudios de tratabilidad biológica es determinar en forma experimental el comportamiento de la biomasa que llevará a cabo el trabajo de biodegradación de la materia orgánica, frente a diferentes condiciones climáticas y de alimentación. En algunas circunstancias se tratará de determinar el comportamiento del proceso de tratamiento, frente a sustancias inhibidoras o tóxicas. Los resultados más importantes de estos estudios son:

- Las constantes cinéticas de biodegradación y mortalidad de bacterias;
- Los requisitos de energía (oxígeno) del proceso;
- La cantidad de biomasa producida, la misma que debe tratarse y disponerse posteriormente; y
- Las condiciones ambientales de diseño de los diferentes procesos.

Estos estudios deben llevarse a cabo obligatoriamente para ciudades con una población actual (referida a la fecha del estudio) mayor a 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia por su posibilidad de crecimiento, el uso inmediato de aguas del cuerpo receptor, la presencia de descargas industriales, etc.

Los estudios de tratabilidad podrán llevarse a cabo en plantas a escala de laboratorio, con una capacidad de alrededor de 40 l/d o plantas a escala piloto con una capacidad de alrededor de 40-60 m<sup>3</sup>/d. El tipo, tamaño y secuencia de los estudios se determinarán de acuerdo con las condiciones específicas del desecho.

Para el tratamiento con lodos activados, incluidas las zanjas de oxidación y lagunas aeradas se establecerán por lo menos tres condiciones de operación de “edad de lodo” a fin de cubrir un intervalo de valores entre las condiciones iniciales hasta el final de la operación.

En estos estudios se efectuarán las mediciones y determinaciones necesarias para validar los resultados con balances adecuados de energía (oxígeno) y nutrientes.

Para los filtros biológicos se establecerán por lo menos tres condiciones de operación de “carga orgánica volumétrica” para el mismo criterio anteriormente indicado.

La tratabilidad para lagunas de estabilización se efectuará en una laguna cercana, en caso de existir. Se utilizará un modelo de temperatura apropiada para la zona y se procesarán los datos meteorológicos de la estación más cercana, para la simulación de la temperatura. Adicionalmente se determinará, en forma experimental, el coeficiente de mortalidad de coliformes fecales y el factor correspondiente de corrección por temperatura.

Para desechos industriales se determinará el tipo de tratabilidad biológica o fisicoquímica que sea requerida de acuerdo con la naturaleza del desecho.

Cuando se considere conveniente se realizarán en forma adicional, estudios de tratabilidad inorgánica para desarrollar criterios de diseño de otros procesos, como por ejemplo:

- Ensayos de sedimentación en columnas, para el diseño de sedimentadores primarios;

- Ensayos de sedimentación y espesamiento, para el diseño de sedimentadores secundarios;
- Ensayos de dosificación química para el proceso de neutralización;
- Pruebas de jarras para tratamiento fisicoquímico; y
- Ensayos de tratabilidad para varias concentraciones de desechos peligrosos.

### **2.6.1.3 Disposiciones específicas para diseños definitivos.**

En el caso de ciudades con sistema de alcantarillado combinado, el diseño del sistema de tratamiento deberá estar sujeto a un cuidadoso análisis para justificar el dimensionamiento de los procesos de la planta para condiciones por encima del promedio. El caudal de diseño de las obras de llegada y tratamientos preliminares será el máximo horario calculado sin el aporte pluvial.

Se incluirá un rebose antes del ingreso a la planta para que funcione cuando el caudal sobrepase el caudal máximo horario de diseño de la planta.

Para el diseño definitivo de la planta de tratamiento se deberá contar como mínimo con la siguiente información básica:

- Levantamiento topográfico detallado de la zona donde se ubicarán las unidades de tratamiento y de la zona de descarga de los efluentes;
- Estudios de desarrollo urbano o agrícola que puedan existir en la zona escogida para el tratamiento;
- Datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural de las unidades, incluido el nivel freático;
- Datos hidrológicos del cuerpo receptor, incluido el nivel máximo de inundación para posibles obras de protección;
- Datos climáticos de la zona; y
- Disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

El producto del diseño definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales consistirá de dos documentos:

- El estudio definitivo y el
- Expediente técnico.

Estos documentos deberán presentarse teniendo en consideración que la contratación de la ejecución de las obras deberá incluir la puesta en marcha de la planta de tratamiento.

Los documentos a presentarse comprenden:

- Memoria técnica del proyecto;
- La información básica para el diseño definitivo de la planta de tratamiento.
- Los resultados del estudio del cuerpo receptor;
- Resultados de la caracterización de las aguas residuales y de los ensayos de tratabilidad de ser necesarios;
- Dimensionamiento de los procesos de tratamiento;
- Resultados de la evaluación de impacto ambiental; y el
- Manual de operación y mantenimiento.

El expediente técnico deberá contener:

- Planos a nivel de ejecución de obra, dentro de los cuales, sin carácter limitante deben incluirse:
  - ✓ Planimetría general de la obra, ubicación de las unidades de tratamiento;
  - ✓ Diseños hidráulicos y sanitarios de los procesos e interconexiones entre procesos, los cuales comprenden planos de planta, cortes, perfiles hidráulicos y demás detalles constructivos;
  - ✓ Planos estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
  - ✓ Planos de obras generales como obras de protección, caminos, arreglos interiores, laboratorios, vivienda del operador, caseta de guardianía, cercos perimétricos, etc.;
- Memoria descriptiva.
- Especificaciones técnicas.
- Análisis de costos unitarios.
- Metrados y presupuestos.
- Fórmulas de reajustes de precios.

- Documentos relacionados con los procesos de licitación, adjudicación, supervisión, recepción de obra y otros que el organismo competente considere de importancia.

Los sistemas de lagunas deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a torrentes y avenidas, y en el caso de no ser posible, se deberán proyectar obras de protección. El área deberá estar lo más alejada posible de los centros poblados, recomendándose las siguientes distancias:

- 500 m como mínimo para tratamientos anaerobios;
- 200 m como mínimo para lagunas facultativas;
- 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aeradas; y
- 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores.

Las distancias deben justificarse en el estudio de impacto ambiental. El proyecto debe considerar un área de protección alrededor del sistema de tratamiento, determinada en el estudio de impacto ambiental.

El proyectista podrá justificar distancias menores a las recomendadas si se incluye en el diseño procesos de control de olores y de otras contingencias perjudiciales.

En adelante se detallan los criterios que se utilizarán para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y estructuras complementarias. Los valores que se incluyen son referenciales y están basados en el estado del arte de la tecnología de tratamiento de aguas residuales y podrán ser modificadas por el proyectista previo presentación, a la autoridad competente, de la justificación sustentatoria basada en investigaciones y el desarrollo tecnológico. Los resultados de las investigaciones realizadas en el nivel local podrán ser incorporados a la norma cuando ésta se actualice.

## **I. Obras de llegada.**

Al conjunto de estructuras ubicadas entre el punto de entrega del emisor y los procesos de tratamiento preliminar se le denomina estructuras de llegada. En términos generales dichas estructuras deben dimensionarse para el caudal máximo horario.

Se deberá proyectar una estructura de recepción del emisor que permita obtener velocidades adecuadas y disipar energía en el caso de líneas de impulsión.

Inmediatamente después de la estructura de recepción se ubicará el dispositivo de desvío de la planta. La existencia, tamaño y consideraciones de diseño de estas



estructuras se justificarán debidamente teniendo en cuenta los procesos de la planta y el funcionamiento en condiciones de mantenimiento correctivo de uno o varios de los procesos. Para lagunas de estabilización se deberán proyectar estas estructuras para los períodos de secado y remoción de lodos.

La ubicación de la estación de bombeo (en caso de existir) dependerá del tipo de la bomba. Para el caso de bombas del tipo tornillo, esta puede estar colocada antes del tratamiento preliminar, precedida de cribas gruesas con una abertura menor al paso de rosca. Para el caso de bombas centrífugas sin desintegrador, la estación de bombeo deberá ubicarse después del proceso de cribado.

## **II. Tratamiento preliminar.**

Las unidades de tratamiento preliminar que se puede utilizar en el tratamiento de aguas residuales municipales son las cribas y los desarenadores.

### **A) Cribas.**

Las cribas deben utilizarse en toda planta de tratamiento, aun en las más simples.

Se diseñarán preferentemente cribas de limpieza manual, salvo que la cantidad de material cribado justifique las de limpieza mecanizada.

El diseño de las cribas debe incluir:

- Una plataforma de operación y drenaje del material cribado con barandas de seguridad;
- Iluminación para la operación durante la noche;
- Espacio suficiente para el almacenamiento temporal del material cribado en condiciones sanitarias adecuadas;
- Solución técnica para la disposición final del material cribado; y
- Las compuertas necesarias para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades.

El diseño de los canales se efectuará para las condiciones de caudal máximo horario, pudiendo considerarse las siguientes alternativas:

- Tres canales con cribas de igual dimensión, de los cuales uno servirá de by pass en caso de emergencia o mantenimiento. En este caso dos de los tres canales tendrán la capacidad para conducir el máximo horario;

- Dos canales con cribas, cada uno dimensionados para el caudal máximo horario;
- Para instalaciones pequeñas puede utilizarse un canal con cribas con by pass para el caso de emergencia o mantenimiento.

Para el diseño de cribas de rejillas se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor de 30 a 75 mm de ancho. Las dimensiones dependen de la longitud de las barras y el mecanismo de limpieza.
- b) El espaciamiento entre barras estará entre 20 y 50 mm. Para localidades con un sistema inadecuado de recolección de residuos sólidos se recomienda un espaciamiento no mayor a 25 mm.
- c) Las dimensiones y espaciamiento entre barras se escogerán de modo que la velocidad del canal antes de y a través de las barras sea adecuada. La velocidad a través de las barras limpias debe mantenerse entre 0,60 a 0,75 m/s (basado en caudal máximo horario). Las velocidades deben verificarse para los caudales mínimos, medio y máximo.
- d) Determinada las dimensiones se procederá a calcular la velocidad del canal antes de las barras, la misma que debe mantenerse entre 0,30 y 0,60 m/s, siendo 0,45 m/s un valor comúnmente utilizado.
- e) En la determinación del perfil hidráulico se calculará la pérdida de carga a través de las cribas para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área obstruida. Se utilizará el valor más desfavorable obtenido al aplicar las correlaciones para el cálculo de pérdida de carga. El tirante de agua en el canal antes de las cribas y el borde libre se comprobará para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área de cribas obstruida.
- f) El ángulo de inclinación de las barras de las cribas de limpieza manual será entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.
- g) El cálculo de la cantidad de material cribado se determinará de acuerdo con la siguiente tabla.

Abertura (mm)	Cantidad (litros de material cribado l/m <sup>3</sup> de agua residual)
20	0,038
25	0,023
35	0,012
40	0,009

- h) Para facilitar la instalación y el mantenimiento de las cribas de limpieza manual, las rejas serán instaladas en guías laterales con perfiles metálicos en “U”, descansando en el fondo en un perfil “L” o sobre un tope formado por una pequeña grada de concreto.

## B) Desarenadores

La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional.

Los desarenadores serán preferentemente de limpieza manual, sin incorporar mecanismos, excepto en el caso de desarenadores para instalaciones grandes. Según el mecanismo de remoción, los desarenadores pueden ser a gravedad de flujo horizontal o helicoidal. Los primeros pueden ser diseñados como canales de forma alargada y de sección rectangular.

Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0,20 mm. Para el efecto se debe tratar de controlar y mantener la velocidad del flujo alrededor de 0,3 m/s con una tolerancia + 20%. La tasa de aplicación deberá estar entre 45 y 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, debiendo verificarse para las condiciones del lugar y para el caudal máximo horario. A la salida y entrada del desarenador se preverá, a cada lado, por lo menos una longitud adicional equivalente a 25% de la longitud teórica. La relación entre el largo y la altura del agua debe ser como mínimo 25. La altura del agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario.

El control de la velocidad para diferentes tirantes de agua se efectuará con la instalación de un vertedero a la salida del desarenador. Este puede ser de tipo proporcional (sutro), trapezoidal o un medidor de régimen crítico (Parshall o Palmer

Bowlus). La velocidad debe comprobarse para el caudal mínimo, promedio y máximo.

Se deben proveer dos unidades de operación alterna como mínimo.

Para desarenadores de limpieza manual se deben incluir las facilidades necesarias (compuertas) para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades. Las dimensiones de la parte destinada a la acumulación de arena deben ser determinadas en función de la cantidad prevista de material y la frecuencia de limpieza deseada. La frecuencia mínima de limpieza será de una vez por semana.

Los desarenadores de limpieza hidráulica no son recomendables a menos que se diseñen facilidades adicionales para el secado de la arena (estanques o lagunas).

Para el diseño de desarenadores de flujo helicoidal (o Geiger), los parámetros de diseño serán debidamente justificados ante el organismo competente.

### **C) Medidor y Repartidores de Caudal**

Después de las cribas y desarenadores se debe incluir en forma obligatoria un medidor de caudal de régimen crítico, pudiendo ser del tipo Parshall o Palmer Bowlus. No se aceptará el uso de vertederos.

El medidor de caudal debe incluir un pozo de registro para la instalación de un limnógrafo. Este mecanismo debe estar instalado en una caseta con apropiadas medidas de seguridad.

Las estructuras de repartición de caudal deben permitir la distribución del caudal considerando todas sus variaciones, en proporción a la capacidad del proceso inicial de tratamiento para el caso del tratamiento convencional y en proporción a las áreas de las unidades primarias, en el caso de lagunas de estabilización. En general estas facilidades no deben permitir la acumulación de arena.

Los repartidores pueden ser de los siguientes tipos:

- Cámara de repartición de entrada central y flujo ascendente, con vertedero circular o cuadrado e instalación de compuertas manuales, durante condiciones de mantenimiento correctivo.

- Repartidor con tabiques en régimen crítico, el mismo que se ubicará en el canal.
- Otros debidamente justificados ante el organismo competente.

Para las instalaciones antes indicadas el diseño se efectuará para las condiciones de caudal máximo horario, debiendo comprobarse su funcionamiento para condiciones de caudal mínimo al inicio de la operación.

### **III. Tratamiento Primario**

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación.

#### **A) Tanques Imhoff**

Son tanques de sedimentación primaria en los cuales se incorpora la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior.

Para el diseño de la zona de sedimentación se utilizará los siguientes criterios:

- a) El área requerida para el proceso se determinará con una carga superficial de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , calculado en base al caudal medio.
- b) El período de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas. La profundidad será el producto de la carga superficial y el período de retención.
- c) El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados, con respecto al eje horizontal, tendrá entre 50 y 60 grados.
- d) En la arista central se dejará una abertura para el paso de sólidos de 0,15 m a 0,20 m. Uno de los lados deberá prolongarse de modo que impida el paso de gases hacia el sedimentador; esta prolongación deberá tener una proyección horizontal de 0,15 a 0,20 m.
- e) El borde libre tendrá un valor mínimo de 0,30m.
- f) Las estructuras de entrada y salida, así como otros parámetros de diseño, serán los mismos que para los sedimentadores rectangulares convencionales.

Para el diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (zona de digestión) se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- a) El volumen lodos se determinará considerando la reducción de 50% de sólidos volátiles, con una densidad de 1,05 kg/l y un contenido promedio de sólidos de 12,5% (al peso). El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante el proceso de digestión de acuerdo a la temperatura. Se usarán los siguientes valores:

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE DIGESTIÓN (DÍAS)
5	110
10	76
15	55
20	40
≥25	30

- b) Alternativamente se determinará el volumen del compartimiento de lodos considerando un volumen de 70 litros por habitante para la temperatura de 15°C. Para otras temperaturas este volumen unitario se debe multiplicar por un factor de capacidad relativa de acuerdo a los valores de la siguiente tabla:

TEMPERATURA (°C)	FACTOR DE CAPACIDAD RELATIVA
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
≥25	0,5

- c) Altura máxima de lodos deberá estar 0.50 m por debajo del fondo del sedimentador.

- d) El fondo del compartimiento tendrá la forma de un tronco de pirámide, cuyas paredes tendrán una inclinación de  $15^\circ$  a  $30^\circ$  con respecto a la horizontal.

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se seguirán los siguientes criterios:

- a) El espaciamiento libre será de 1.00 m como mínimo.
- b) La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.

Las facilidades para la remoción de lodos digeridos deben ser diseñadas en forma similar los sedimentadores primarios, considerando que los lodos son retirados para secado en forma intermitente. Para el efecto se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) El diámetro mínimo de las tuberías de remoción de lodos será de 200 mm.
- b) La tubería de remoción de lodos debe estar 15 cm por encima del fondo del tanque.
- c) Para la remoción hidráulica del lodo se requiere por lo menos una carga hidráulica de 1.80 m.

## **B) Tanques de Sedimentación**

Los tanques de sedimentación pequeños, de diámetro o lado no mayor deben ser proyectados sin equipos mecánicos. La forma puede ser rectangular, circular o cuadrado; los rectangulares podrán tener varias tolvas y los circulares o cuadrados una tolva central, como es el caso de los sedimentadores tipo Dormund. La inclinación de las paredes de las tolvas será de por lo menos 60 grados con respecto a horizontal. Los parámetros de diseño son similares a los de sedimentadores con equipos mecánicos.

Los tanques de sedimentación mayores usarán equipo mecánico para el barrido de lodos y transporte a los procesos de tratamiento de lodos.

Los parámetros de diseño del tanque de sedimentación primaria y sus eficiencias deben preferentemente ser determinados experimentalmente. Cuando se diseñen

tanques convencionales de sedimentación primaria sin datos experimentales se utilizarán los siguientes criterios de diseño:

- a) Los canales de repartición y entrada a los tanques deben ser diseñados para el caudal máximo horario.
- b) Los requisitos de área deben determinarse usando cargas superficiales entre 24 y 60 m<sup>3</sup>/d basado en el caudal medio de diseño, lo cual equivale a una velocidad de sedimentación de 1,00 a 2,5 m/h.
- c) El período de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas (recomendable < 2 horas), basado en el caudal máximo diario de diseño.
- d) La profundidad es el producto de la carga superficial y el período de retención y debe estar entre 2 y 3,5 m. (recomendable 3 m).
- e) La relación largo / ancho debe estar entre 3 y 10 (recomendable 4) y la relación largo / profundidad entre 5 y 30.
- f) La carga hidráulica en los vertederos será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño.
- g) La eficiencia de remoción del proceso de sedimentación puede estimarse de acuerdo con la tabla siguiente:

Porcentaje de remoción recomendado

Período de retención nominal (horas)	DBO 100 a 200 mg/l		DBO 200 a 300 mg/l	
	D	S	DB	S
1,5	3	5	32	5
2,0	3	5	36	6
3,0	3	5	40	6
4,0	4	6	42	6

SS\* = sólidos en suspensión totales.

- h) El volumen de lodos primarios debe calcularse para el final del período de diseño (con el caudal medio) y evaluarse para cada 5 años de operación. La remoción de sólidos del proceso se obtendrá de la siguiente tabla:



Tipo de lodo primario	Gravedad Específica	Concentración de sólidos	
		Rango	% Recomendado
Con alcantarillado sanitario	1,03	4 - 12	6,0
Con alcantarillado combinado	1.05	4 - 12	6,5
Con lodo activado de exceso	1,03	3 - 10	4,0

i) El retiro de los lodos del sedimentador debe efectuarse en forma cíclica e idealmente por gravedad. Donde no se disponga de carga hidráulica se debe retirar por bombeo en forma cíclica. Para el lodo primario se recomienda:

- Bombas rotativas de desplazamiento positivo;
- Bombas de diafragma;
- Bombas de pistón; y
- Bombas centrífugas con impulsor abierto.

Para un adecuado funcionamiento de la planta, es recomendable instalar motores de velocidad variable e interruptores cíclicos que funcionen cada 0.5 a 4 horas. El sistema de conducción de lodos podrá incluir, de ser necesario, un dispositivo para medir el caudal.

j) El volumen de la tolva de lodos debe ser verificado para el almacenamiento de lodos de dos ciclos consecutivos. La velocidad en la tubería de salida del lodo primario debe ser por lo menos 0.9 m/s.

El mecanismo de barrido de lodos de tanques rectangulares tendrá una velocidad entre 0,6 y 1,2 m/min.

Las características de los tanques circulares de sedimentación serán los siguientes:

- Profundidad: de 3 a 5 m
- Diámetro: de 3,6 a 4,5 m
- Pendiente de fondo: de 6% a 16% (recomendable 8%).

El mecanismo de barrido de lodos de los tanques circulares tendrá una velocidad periférica tangencial comprendida entre 1,5 y 2,4 m/min o una velocidad de rotación de 1 a 3 revoluciones por hora, siendo dos un valor recomendable.

El sistema de entrada al tanque debe garantizar la distribución uniforme del líquido a través de la sección transversal y debe diseñarse en forma tal que se eviten cortocircuitos.

La carga hidráulica en los vertederos de salida será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño.

Se deberá diseñar un sistema de recolección de natas, las que deben almacenarse en un pozo especial antes de ser transportadas al proceso de digestión.

La pendiente mínima de la tolva de lodos será 1,7 vertical a 1,0 horizontal. En caso de sedimentadores rectangulares, cuando la tolva sea demasiado ancha, se deberá proveer un barredor transversal desde el extremo hasta el punto de extracción de lodos.

### **C) Tanques de Flotación**

El proceso de flotación se usa en aguas residuales para remover partículas finas en suspensión y de baja densidad, usando el aire como agente de flotación. Una vez que los sólidos han sido elevados a la superficie del líquido, son removidos en una operación de desnatado. El proceso requiere un mayor grado de mecanización que los tanques convencionales de sedimentación; su uso deberá ser justificado ante el organismo competente.

## **IV. Tratamiento Secundario**

Para efectos de la presente norma de diseño se considerarán como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación y otras variantes), filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto.

La selección del tipo de tratamiento secundario, deberá estar debidamente justificada en el estudio de factibilidad

Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa en suspensión se preferirán aquellos que sean de fácil operación y mantenimiento y que reduzcan al mínimo la utilización de equipos mecánicos complicados o que no puedan ser reparados localmente. Entre estos métodos están los sistemas de lagunas de estabilización y las zanjas de oxidación de operación intermitente y continua. El sistema de lodos activados convencional y las plantas compactas de este tipo podrán ser utilizados sólo en el caso en que se demuestre que las otras alternativas son inconvenientes técnica y económicamente.

Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa adherida se preferirán aquellos que sean de fácil operación y que carezcan de equipos complicados o de difícil reparación. Entre ellos están los filtros percoladores y los módulos rotatorios de contacto.

#### **A. Lagunas de Estabilización**

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.

El tratamiento por lagunas de estabilización se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos.

Para los casos en los que el efluente sea descargado a un lago o embalse, deberá evaluarse la posibilidad de eutroficación del cuerpo receptor antes de su consideración como alternativa de descarga o en todo caso se debe determinar las necesidades de pos-tratamiento.

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales se considerarán únicamente los sistemas de lagunas que tengan unidades anaerobias, aeradas, facultativas y de maduración, en las combinaciones y número de unidades que se detallan en la presente norma.

No se considerarán como alternativa de tratamiento las lagunas de alta producción de biomasa (conocidas como lagunas aerobias o fotosintéticas), debido a que su finalidad es maximizar la producción de algas y no el tratamiento del desecho líquido.

### **a. Lagunas Anaerobias**

Las lagunas anaerobias se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. No es recomendable el uso lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15 °C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l).

Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. En el caso de emplear lagunas facultativas secundarias su carga orgánica superficial no debe estar por encima de los valores límite para lagunas facultativas. Por lo general el área de las unidades en serie del sistema no debe ser uniforme.

En el dimensionamiento de lagunas anaerobias se puede usar las siguientes recomendaciones para temperaturas de 20 °C:

- carga orgánica volumétrica de 100 a 300 g DBO / (m<sup>3</sup>.d);
- período de retención nominal de 1 a 5 días;
- profundidad entre 2.5 y 5 m;
- 50% de eficiencia de remoción de DBO;
- carga superficial mayor de 1000 kg DBO/ha.día.

Se deberá diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo de la otra.

La acumulación de lodo se calculará con un aporte no menor de 40 l/hab/año. Se deberá indicar, en la memoria descriptiva y manual de operación y mantenimiento, el período de limpieza asumido en el diseño.

En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodos acumulado supere 50% del tirante de la laguna.

Para efectos del cálculo de la reducción bacteriana se asumirá una reducción nula en lagunas anaerobias.

Deberá verificarse los valores de carga orgánica volumétrica y carga superficial para las condiciones de inicio de operación y de limpieza de lodos de las lagunas.

Dichos valores deben estar comprendidos entre los recomendados en el punto 3 de este artículo.

#### **b. Lagunas Aeradas.**

Las lagunas aeradas se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominantemente orgánicas. El uso de las lagunas aeradas en serie no es recomendable.

Se distinguen los siguientes tipos de lagunas aeradas:

- Lagunas aeradas de mezcla completa: las mismas que mantienen la biomasa en suspensión, con una alta densidad de energía instalada ( $>15$  W/m<sup>3</sup>). Son consideradas como un proceso incipiente de lodos activados sin separación y recirculación de lodos y la presencia de algas no es aparente. En este tipo de lagunas la profundidad varía entre 3 y 5 m y el período de retención entre 2 y 7 días. Para estas unidades es recomendable el uso de aeradores de baja velocidad de rotación. Este es el único caso de laguna aerada para el cual existe una metodología de dimensionamiento.
- Lagunas aeradas facultativas: las cuales mantienen la biomasa en suspensión parcial, con una densidad de energía instalada menor que las anteriores (1 a 4 W/m<sup>3</sup>, recomendable 2 W/m<sup>3</sup>). Este tipo de laguna presenta acumulación de lodos, observándose frecuentemente la aparición de burbujas de gas de gran tamaño en la superficie por efecto de la digestión de lodos en el fondo. En este tipo de lagunas los períodos de retención varían entre 7 y 20 días (variación promedio entre 10 y 15 días) y las profundidades son por lo menos 1,50 m. En climas cálidos y con buena insolación se observa un apreciable crecimiento de algas en la superficie de la laguna.
- Lagunas facultativas con agitación mecánica: se aplican exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos.

Tienen una baja densidad de energía instalada (del orden de 0,1 W/m<sup>3</sup>), la misma que sirve para vencer los efectos adversos de la estratificación termal, en ausencia del viento. Las condiciones de diseño de estas unidades son las mismas que para lagunas facultativas. El uso de los aeradores puede ser intermitente.

Los dos primeros tipos de lagunas aeradas antes mencionados, pueden ser seguidas de lagunas facultativas diseñadas con la finalidad de tratar el efluente de la laguna primaria, asimilando una gran cantidad de sólidos en suspensión.

Para el diseño de lagunas aeradas de mezcla completa se observarán las siguientes recomendaciones:

- Los criterios de diseño para el proceso (coeficiente cinético de degradación, constante de autooxidación y requisitos de oxígeno para síntesis) deben idealmente ser determinados a través de experimentación.
- Alternativamente se dimensionará la laguna aerada para la eficiencia de remoción de DBO soluble establecida en condiciones del mes más frío y con una constante de degradación alrededor de 0,025 (1/(mg/l Xv.d)) a 20°C, en donde Xv es la concentración de sólidos volátiles activos en la laguna.
- Los requisitos de oxígeno del proceso (para síntesis y respiración endógena) se determinará para condiciones del mes más caliente. Estos serán corregidos a condiciones estándar, por temperatura y elevación, según lo indicado en el numeral 5.5.3.1 ítem 6.
- Se seleccionará el tipo de aerador más conveniente, prefiriéndose los aereadores mecánicos superficiales, de acuerdo con sus características, velocidad de rotación, rendimiento y costo. La capacidad de energía requerida e instalada se determinará seleccionando un número par de aeradores de igual tamaño y eficiencias especificadas.
- Para la remoción de coliformes se usará el mismo coeficiente de mortalidad neto que el especificado para las lagunas facultativas. La calidad del efluente se determinará para las condiciones del mes más frío. Para el efecto podrá determinarse el factor de dispersión por medio de la siguiente relación:

$$d = \frac{2881 \times PR}{L^2}$$

En donde:

PR es el período de retención nominal expresado en horas y L es la longitud entre la entrada y la salida en metros.

En caso de utilizarse otra correlación deberá ser justificada ante la autoridad competente.

### **c. Lagunas Facultativas**

Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

- Como laguna única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración), y
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aeradas para procesar sus efluentes a un grado mayor.

Los criterios de diseño referidos a temperaturas y mortalidad de bacterias se deben determinar en forma experimental. Alternativamente y cuando no sea posible la experimentación, se podrán usar los siguientes criterios:

- La temperatura de diseño será el promedio del mes más frío (temperatura del agua), determinada a través de correlaciones de las temperaturas del aire y agua existentes.
- En caso de no existir esos datos, se determinará la temperatura del agua sumando a la temperatura del aire un valor que será justificado debidamente ante el organismo competente, el mismo que depende de las condiciones meteorológicas del lugar.
- En donde no exista ningún dato se usará la temperatura promedio del aire del mes más frío.
- El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0,6 a 1,0 (1/d) para 20°C.

La carga de diseño para lagunas facultativas se determina con la siguiente expresión:

$$Cd = 250 \times 1,05^{(T-20)}$$

En donde:

Cd: es la carga superficial de diseño en kg DBO / (ha.d)

T: es la temperatura del agua promedio del mes más frío en °C.

Alternativamente puede utilizarse otras correlaciones que deberán ser justificadas ante la autoridad competente.

El proyectista deberá adoptar una carga de diseño menor a la determinada anteriormente, si existen factores como:

- La existencia de variaciones bruscas de temperatura,
- La forma de la laguna (las lagunas de forma alargada son sensibles a variaciones y deben tener menores cargas),
- La existencia de desechos industriales,
- El tipo de sistema de alcantarillado, etc.

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas debe ser mayor de 1,5 m. Para el diseño de una laguna facultativa primaria, el proyectista deberá proveer una altura adicional para la acumulación de lodos entre períodos de limpieza de 5 a 10 años.

Para lagunas facultativas primarias se debe determinar el volumen de lodo acumulado teniendo en cuenta un 80% de remoción de sólidos en suspensión en el efluente, con una reducción de 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1,05 kg/l y un contenido de sólidos de 15% a 20% al peso. Con estos datos se debe determinar la frecuencia de remoción del lodo en la instalación.

Para el diseño de lagunas facultativas que reciben el efluente de lagunas aeradas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El balance de oxígeno de la laguna debe ser positivo, teniendo en cuenta los siguientes componentes:
  - ✓ La producción de oxígeno por fotosíntesis,



- ✓ La reaeración superficial,
  - ✓ La asimilación de los sólidos volátiles del afluente,
  - ✓ La asimilación de la DBO soluble,
  - ✓ El consumo por solubilización de sólidos en la digestión,
  - ✓ El consumo neto de oxígeno de los sólidos anaerobios.
- Se debe determinar el volumen de lodo acumulado a partir de la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de la laguna aerada, con una reducción de 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1,03 kg/l y un contenido de sólidos 10% al peso. Con estos datos se debe determinar la frecuencia de remoción del lodo en la instalación.

En el cálculo de remoción de la materia orgánica (DBO) se podrá emplear cualquier metodología debidamente sustentada, con indicación de la forma en que se determina la concentración de DBO (total o soluble).

En el uso de correlaciones de carga de DBO aplicada a DBO removida, se debe tener en cuenta que la carga de DBO removida es la diferencia entre la DBO total del afluente y la DBO soluble del efluente. Para lagunas en serie se debe tomar en consideración que en la laguna primaria se produce la mayor remoción de materia orgánica. La concentración de DBO en las lagunas siguientes no es predecible, debido a la influencia de las poblaciones de algas de cada unidad.

#### **d. Diseño de Lagunas para Remoción de Organismos Patógenos**

Las disposiciones que se detallan se aplican para cualquier tipo de lagunas (en forma individual o para lagunas en serie), dado que la mortalidad bacteriana y remoción de parásitos ocurre en todas las unidades y no solamente en las lagunas de maduración.

Con relación a los parásitos de las aguas residuales, los nematodos intestinales se consideran como indicadores, de modo que su remoción implica la remoción de otros tipos de parásitos. Para una adecuada remoción de nematodos intestinales en un sistema de laguna se requiere un período de retención nominal de 10 días como mínimo en una de las unidades.

La reducción de bacterias en cualquier tipo de lagunas debe, en lo posible, ser determinada en términos de coliformes fecales, como indicadores. Para tal efecto, el

proyectista debe usar el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades. El uso del modelo de mezcla completa con coeficientes globales de mortalidad no es aceptable para el diseño de las lagunas en serie.

El factor de dispersión en el modelo de flujo disperso puede determinarse según la forma de la laguna y el valor de la temperatura. El proyectista deberá justificar la correlación empleada.

Los siguientes valores son referenciales para la relación largo / ancho:

Relación largo - ancho	Factor de dispersión d
1	1,00
2	0,50
4	0,25
8	0,12

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación de dependencia de la temperatura.

$$K_T = K_{20} \times 1,05^{(T-20)}$$

En donde:

KT: es el coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua

T: promedio del mes más frío, en °C

K20: es el coeficiente de mortalidad neto a 20 °C.

## **B. Normas generales para el diseño de sistemas de lagunas**

El período de diseño de la planta de tratamiento debe estar comprendido entre 20 y 30 años, con etapas de implementación de alrededor de 10 años.

En la concepción del proyecto se deben seguir las siguientes consideraciones:

- El diseño debe concebirse por lo menos con dos unidades en paralelo para permitir la operación de una de las unidades durante la limpieza.
- La conformación de unidades, geometría, forma y número de celdas debe escogerse en función de la topografía del sitio, y en particular de un

óptimo movimiento de tierras, es decir de un adecuado balance entre el corte y relleno para los diques.

- La forma de las lagunas depende del tipo de cada una de las unidades. Para las lagunas anaerobias y aeradas se recomiendan formas cuadradas o ligeramente rectangulares. Para las lagunas facultativas se recomienda formas alargadas; se sugiere que la relación largo-ancho mínima sea de 2.
- En general, el tipo de entrada debe ser lo más simple posible y no muy alejada del borde de los taludes, debiendo proyectarse con descarga sobre la superficie.
- En la salida se debe instalar un dispositivo de medición de caudal (vertedero o medidor de régimen crítico), con la finalidad de poder evaluar el funcionamiento de la unidad.
- Antes de la salida de las lagunas primarias se recomienda la instalación de una pantalla para la retención de natas.
- La interconexión entre las lagunas puede efectuarse mediante usando simples tuberías después del vertedero o canales con un medidor de régimen crítico. Esta última alternativa es la de menor pérdida de carga y de utilidad en terrenos planos.
- Las esquinas de los diques deben redondearse para minimizar la acumulación de natas.
- El ancho de la berma sobre los diques debe ser por lo menos de 2,5 m para permitir la circulación de vehículos. En las lagunas primarias el ancho debe ser tal que permita la circulación de equipo pesado, tanto en la etapa de construcción como durante la remoción de lodos.
- No se recomienda el diseño de tuberías, válvulas, compuertas metálicas de vaciado de las lagunas debido a que se deterioran por la falta de uso. Para el vaciado de las lagunas se recomienda la instalación temporal de sifones u otro sistema alternativo de bajo costo.

El borde libre recomendado para las lagunas de estabilización es de 0,5 m. Para el caso en los cuales se puede producir oleaje por la acción del viento se deberá calcular una mayor altura y diseñar la protección correspondiente para evitar el proceso de erosión de los diques.

Se debe comprobar en el diseño el funcionamiento de las lagunas para las siguientes condiciones especiales:

- ✓ Durante las condiciones de puesta en operación inicial, el balance hídrico de la laguna (afluente - evaporación - infiltración > efluente) debe ser positivo durante los primeros meses de funcionamiento.
- ✓ Durante los períodos de limpieza, la carga superficial aplicada sobre las lagunas en operación no debe exceder la carga máxima correspondiente a las temperaturas del período de limpieza.

Para el diseño de los diques se debe tener en cuenta las siguientes disposiciones:

- Se debe efectuar el número de sondajes necesarios para determinar el tipo de suelo y de los estratos a cortarse en el movimiento de tierras. En esta etapa se efectuarán las pruebas de mecánica de suelos que se requieran (se debe incluir la permeabilidad en el sitio) para un adecuado diseño de los diques y formas de impermeabilización. Para determinar el número de calicatas se tendrá en consideración la topografía y geología del terreno, observándose como mínimo las siguientes criterios:
- El número mínimo de calicatas es de 4 por hectárea.
- Para los sistemas de varias celdas el número mínimo de calicatas estará determinado por el número de cortes de los ejes de los diques más una perforación en el centro de cada una unidad. Para terrenos de topografía accidentada en los que se requieren cortes pronunciados se incrementarán los sondajes cuando sean necesarios.
- Los diques deben diseñarse comprobando que no se produzca volcamiento y que exista estabilidad en las condiciones más desfavorables de operación, incluido un vaciado rápido y sismo.
- Se deben calcular las subpresiones en los lados exteriores de los taludes para comprobar si la pendiente exterior de los diques es adecuada y determinar la necesidad de controles como: impermeabilización, recubrimientos o filtros de drenaje.
- En general los taludes interiores de los diques deben tener una inclinación entre 1:1,5 y 1:2. Los taludes exteriores son menos inclinados, entre 1:2 y 1:3 (vertical: horizontal).

- De los datos de los sondeos se debe especificar el tipo de material a usarse en la compactación de los diques y capa de impermeabilización, determinándose además las canteras de los diferentes materiales que se requieren.
- La diferencia de cotas del fondo de las lagunas y el nivel freático deberá determinarse considerando las restricciones constructivas y de contaminación de las aguas subterráneas de acuerdo a la vulnerabilidad del acuífero. Se deberá diseñar, si fuera necesario, el sistema de impermeabilización del fondo y taludes, debiendo justificar la solución adoptada.

Se deben considerar las siguientes instalaciones adicionales:

- Casa del operador y almacén de materiales y herramientas.
- Laboratorio de análisis de aguas residuales para el control de los procesos de tratamiento, para ciudades con más de 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere necesario.
- Para las lagunas aeradas se debe considerar adicionalmente la construcción de una caseta de operación, con área de oficina, taller y espacio para los controles mecánico-eléctricos, en la cual debe instalarse un tablero de operación de los motores y demás controles que sean necesarios.
- Una estación meteorológica básica que permita la medición de la temperatura ambiental, dirección y velocidad de viento, precipitación y evaporación.
- Para las lagunas aeradas se debe considerar la iluminación y asegurar el abastecimiento de energía en forma continua. Para el efecto se debe estudiar la conveniencia de instalar un grupo electrógeno.
- El sistema de lagunas debe protegerse contra daños por efecto de la escorrentía, diseñándose cunetas de intercepción de aguas de lluvia en caso de que la topografía del terreno así lo requiera.
- La planta debe contar con cerco perimétrico de protección y letreros adecuados.

### **C. Tratamiento con proceso de lodos activados**

A continuación se norman aspectos comunes tanto del proceso convencional con lodos activados como de todas sus variaciones.

Para efectos de las presentes normas se consideran como opciones aquellas que tengan una eficiencia de remoción de 75 a 95% de la DBO. Entre las posibles variaciones se podrá seleccionar la aeración prolongada por zanjas de oxidación, en razón a su bajo costo. La selección del tipo de proceso se justificará mediante un estudio técnico económico, el que considerará por lo menos los siguientes aspectos:

- Calidad del efluente;
- Requerimientos y costos de tratamientos preliminares y primarios;
- Requerimientos y costos de tanques de aeración y sedimentadores secundarios;
- Requerimientos y costos del terreno para las instalaciones (incluye unidades de tratamiento de agua residual y lodo, áreas libres, etc.);
- Costo del tratamiento de lodos, incluida la cantidad de lodo generado en cada uno de los procesos;
- Costo y vida útil de los equipos de la planta;
- Costos operacionales de cada alternativa (incluido el monitoreo de control de los procesos y de la calidad de los efluentes);
- Dificultad de la operación y requerimiento de personal calificado.

Para el diseño de cualquier variante del proceso de lodos activados, se tendrán en consideración las siguientes disposiciones generales:

- Los criterios fundamentales del proceso como: edad del lodo, requisitos de oxígeno, producción de lodo, eficiencia y densidad de la biomasa deben ser determinados en forma experimental de acuerdo a lo indicado.
- En donde no sea requisito desarrollar estos estudios, se podrán usar criterios de diseño.
- Para determinar la eficiencia se considera al proceso de lodos activados conjuntamente con el sedimentador secundario o efluente líquido separado de la biomasa.

- El diseño del tanque de aeración se efectúa para las condiciones de caudal medio. El proceso deberá estar en capacidad de entregar la calidad establecida para el efluente en las condiciones del mes más frío.

Para el tanque de aeración se comprobará los valores de los siguientes parámetros:

- Período de retención en horas;
- Edad de lodos en días;
- Carga volumétrica en kg DBO/m<sup>3</sup>;
- Remoción de DBO en %;
- Concentración de sólidos en suspensión volátiles en el tanque de aeración (SSVTA), en kg SSVTA/m<sup>3</sup> (este parámetro también se conoce como sólidos en suspensión volátiles del licor mezclado - SSVLM);
- Carga de la masa en kg DBO/Kg SSVTA. día;
- Tasa de recirculación o tasa de retorno en %.

En caso de no requerirse los ensayos de tratabilidad, podrán utilizarse los siguientes valores referenciales:

TIPO DE PROCESO	PERÍODO DE RETENCIÓN (h)	EDAD DEL LODO (d)	CARGA VOLUMÉTRICA kg (DBO/m <sup>3</sup> .día)
Convencional	4 - 8	4 -15	0,3 - 0,6
Aeración escalonada	3 - 6	5 -15	0,6 - 0,9
Alta carga	2 - 4	2 - 4	1,1 - 3,0
Aeración prolongada	16 - 48	20 - 60	0,2 - 0,3
Mezcla complete	3 - 5	5 - 15	0,8 - 2,0
Zanja de oxidación	20 - 36	30 - 40	0,2 - 0,3

Adicionalmente se deberá tener en consideración los siguientes parámetros:

TIPO DE PROCES	Remoción de DBO	Concentración de SSTA $\text{kg}/\text{m}^3$	Carga de la masa $\text{kg DBO}/(\text{kg SSVTA}.\text{día})$	Tasa de recirculación %
Convencional	85 - 90	1,5 - 3,0	0,20 - 0,40	25 - 50
Aeración escalonada	85 - 95	2,0 - 3,5	0,20 - 0,40	25 - 75
Alta carga	75 - 90	4,0 - 10	0,40 - 1,50	30 - 500
Aeración prolongada	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,50	75 - 300
Mezcla completa	85 - 95	3,0 - 6,0	0,20 - 0,60	25 - 100
Zanja de Oxidación	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,15	75 - 300

**NOTA:** La selección de otro proceso deberá justificarse convenientemente.

Para la determinación de la capacidad de oxigenación del proceso se deberán tener en cuenta las siguientes disposiciones:

- Los requisitos de oxígeno del proceso deben calcularse para las condiciones de operación de temperatura promedio mensual más alta y deben ser suficientes para abastecer oxígeno para la síntesis de la materia orgánica (remoción de DBO), para la respiración endógena y para la nitrificación.
- Estos requisitos están dados en condiciones de campo y deben ser corregidos a condiciones estándar de cero por ciento de saturación, temperatura estándar de 20 °C y una atmósfera de presión, con el uso de las siguientes relaciones:



$$N_{20} = NC / F$$

$$F = \alpha \times Q^{T-20} (C_{SC} \times \beta - C_i) / 9,02$$

$$C_{SC} = C_s (P - p) / (760 - p)$$

$$p = \exp (1,52673 + 0,07174 T - 0,000246 T^2)$$

$$P = 760 \exp (- E / 8005)$$

$$C_s = 14,652 - 0,41022 T + 0,007991 T^2 - 0,000077774 T^3$$

En donde:

$N_{20}$  = requisitos de oxígeno en condiciones estándares, kg O<sub>2</sub> / d  
 $NC$  = requisitos de oxígeno en condiciones de campo, kg O<sub>2</sub> / d

$F$  = factor de corrección

$\alpha$  = factor de corrección que relaciona los coeficientes de transferencia de oxígeno del desecho y el agua. Su valor será debidamente justificado según el tipo de aeración. Generalmente este valor se encuentra en el rango de 0.8 a 0.9.

$Q$  = factor de dependencia de temperatura cuyo valor se toma como 1.02 para aire comprimido y 1.024 por aeración mecánica.

$C_{SC}$  = concentración de saturación de oxígeno en condiciones de campo (presión  $P$  y temperatura  $T$ ).

$\beta$  = factor de corrección que relaciona las concentraciones de saturación del desecho y el agua (en condiciones de campo). Su valor será debidamente justificado según el tipo de sistema de aeración. Normalmente se asume un valor de 0.95 para la aeración mecánica.

$C_i$  = nivel de oxígeno en el tanque de aeración. Normalmente se asume entre 1 y 2 mg/l. Bajo ninguna circunstancia de operación se permitirá un nivel de oxígeno menor de 0,5 mg/l.

$C_s$  = concentración de saturación de oxígeno en condiciones al nivel del mar y temperatura  $T$ .

$P$  = Presión atmosférica de campo (a la elevación del lugar), mm Hg.

$p$  = presión de vapor del agua a la temperatura  $T$ , mm Hg.

E = Elevación del sitio en metros sobre el nivel del mar.

- El uso de otras relaciones debe justificarse debidamente ante el organismo competente.
- La corrección a condiciones estándares para los sistemas de aeración con aire comprimido será similar a lo anterior, pero además debe tener en cuenta las características del difusor, el flujo de aire y las dimensiones del tanque.

La selección del tipo de aereador deberá justificarse debidamente técnica y económicamente.

Para los sistemas de aeración mecánica se observarán las siguientes disposiciones:

- La capacidad instalada de energía para la aeración se determinará relacionando los requerimientos de oxígeno del proceso (kg O<sub>2</sub>/d) y el rendimiento del aereador seleccionado (kg O<sub>2</sub>/Kwh) ambos en condiciones estándar, con la respectiva corrección por eficiencia en el motor y reductor. El número de equipos de aeración será como mínimo dos y preferentemente de igual capacidad teniendo en cuenta las capacidades de fabricación estandarizadas.
- El rendimiento de los aereadores debe determinarse en un tanque con agua limpia y una densidad de energía entre 30 y 50 W/m<sup>3</sup>. Los rendimientos deberán expresarse en kg O<sub>2</sub>/Kwh y en las siguientes condiciones:
  - ✓ Una atmósfera de presión;
  - ✓ Cero por ciento de saturación;
  - ✓ Temperatura de 20 °C.
- El conjunto motor-reductor debe ser seleccionado para un régimen de funcionamiento de 24 horas. Se recomienda un factor de servicio de 1,0 para el motor.
- La capacidad instalada del equipo será la anteriormente determinada, pero sin las eficiencias del motor y reductor de velocidad.
- El rotor de aeración debe ser de acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión y aprobado por la autoridad competente.

- La densidad de energía ( $W/m^3$ ) se determinará relacionando la capacidad del equipo con el volumen de cada tanque de aeración. La densidad de energía debe permitir una velocidad de circulación del licor mezclado, de modo que no se produzca la sedimentación de sólidos.
- La ubicación de los aeradores debe ser tal que exista una interacción de sus áreas de influencia.

Para sistemas con difusión de aire comprimido se procederá en forma similar, pero teniendo en cuenta los siguientes factores:

- ✓ El tipo de difusor (burbuja fina o gruesa);
- ✓ Las constantes características de cada difusor;
- ✓ El rendimiento de cada unidad de aeración;
- ✓ El flujo de aire en condiciones estándares;
- ✓ La localización del difusor respecto a la profundidad del líquido, y el ancho del tanque.
- ✓ Altura sobre el nivel del mar.

La potencia requerida se determinará considerando la carga sobre el difusor más la pérdida de carga por el flujo del aire a través de las tuberías y accesorios. La capacidad de diseño será 1.2 veces la capacidad nominal.

#### **a. Sedimentador Secundario**

Los criterios de diseño para los sedimentadores secundarios deben determinarse experimentalmente.

En ausencia de pruebas de sedimentación, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ El diseño se debe efectuar para caudales máximos horarios;
- ✓ Para todas las variaciones del proceso de lodos activados (excluyendo aeración prolongada) se recomienda los siguientes parámetros:

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA DE SUPERFICIE M <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d		CARGA kg/m <sup>2</sup> .h		Profundidad m
	Media	Máx.	Media	Máx.	
Sedimentación a continuación de lodos activados (excluida la aeración prolongada)	16-32	40-48	3,0-6,0	9,0	3,5-5
Sedimentación a continuación de aeración prolongada	8-16	24-32	1,0-5,0	7,0	3,5-5

Las cargas hidráulicas anteriormente indicadas están basadas en el caudal del agua residual sin considerar la recirculación, puesto que la misma es retirada del fondo al mismo tiempo y no tiene influencia en la velocidad ascensional del sedimentador.

Para decantadores secundarios circulares se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Los decantadores con capacidades de hasta 300 m<sup>3</sup> pueden ser diseñados sin mecanismo de barrido de lodos, debiendo ser de tipo cónico o piramidal, con una inclinación mínima de las paredes de la tolva de 60 grados (tipo Dormund). Para estos casos la remoción de lodos debe ser hecha a través de tuberías con un diámetro mínimo de 200 mm.
- ✓ Los decantadores circulares con mecanismo de barrido de lodos deben diseñarse con una tolva central para acumulación de lodos de por lo menos 0,6 m de diámetro y profundidad máxima de 4 m. Las paredes de la tolva deben tener una inclinación de por lo menos 60 grados.
- ✓ El fondo de los decantadores circulares debe tener una inclinación de alrededor de 1:12 (vertical: horizontal).
- ✓ El diámetro de la zona de entrada en el centro del tanque debe ser aproximadamente 15 a 20% del diámetro del decantador. Las paredes del pozo de ingreso no deben profundizarse más de 1 m por debajo de la superficie para evitar el arrastre de los lodos.

- ✓ La velocidad periférica del barredor de lodos debe estar comprendida entre 1,5 a 2,5 m/min y no mayor de 3 revoluciones por hora.

Los decantadores secundarios rectangulares serán la segunda opción después de los circulares. Para estos casos se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ La relación largo / ancho debe ser 4/1 como mínimo.
- ✓ La relación ancho / profundidad debe estar comprendida entre 1 y 2.
- ✓ Para las instalaciones pequeñas (hasta 300 m<sup>3</sup>) se podrá diseñar sedimentadores rectangulares sin mecanismos de barrido de lodos, en cuyo caso se diseñarán pirámides invertidas con ángulos mínimos de 60° respecto a la horizontal.

Para zanjas de oxidación se admite el diseño de la zanja con sedimentador secundario incorporado, para lo cual el proyectista deberá justificar debidamente los criterios de diseño.

Para facilitar el retorno de lodos, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Para decantadores circulares, el retorno del lodo será continuo y se podrá usar bombas centrífugas o de desplazamiento positivo. La capacidad instalada de la estación de bombeo de lodos de retorno será por lo menos 100% por encima de la capacidad operativa. La capacidad de bombeo será suficientemente flexible (con motores de velocidad variable o número de bombas) de modo que se pueda operar la planta en todas las condiciones a lo largo de la vida de la planta.
- ✓ Para decantadores rectangulares con mecanismo de barrido de movimiento longitudinal, se considerará la remoción de lodos en forma intermitente, entre períodos de viajes del mecanismo.
- ✓ El lodo de retorno debe ser bombeado a una cámara de repartición con compuertas manuales y vertederos para separar el lodo de exceso.
- ✓ Alternativamente se puede controlar el proceso descargando el lodo de exceso directamente del tanque de aeración, usando la edad de lodo como

parámetro de control. Por ejemplo si la edad del lodo es de 20 días, se deberá desechar 1/20 del volumen del tanque de aeración cada día. Esta es la única forma de operación en el caso de zanjas de oxidación con sedimentador incorporado. En este caso el licor mezclado debe ser retirado en forma intermitente (de 6 a 8 retiros) a un tanque de concentración (en el caso de zanja de oxidación) o a un espesador, en el caso de otros sistemas de baja edad del lodo.

## **b. Zanjas de oxidación**

Las zanjas de oxidación son adecuadas para pequeñas y grandes comunidades y constituyen una forma especial de aeración prolongada con bajos costos de instalación por cuanto no es necesario el uso de decantación primaria y el lodo estabilizado en el proceso puede ser desaguado directamente en lechos de secado. Este tipo de tratamiento es además de simple operación y capaz de absorber variaciones bruscas de carga.

Los criterios de diseño para las zanjas de oxidación son los mismos que se ha enunciado en el capítulo anterior (lodos activados) en lo que se refiere a parámetros de diseño del reactor y sedimentador secundario y requisitos de oxígeno. En el presente capítulo se dan recomendaciones adicionales propias de este proceso.

Para las poblaciones de hasta 10000 habitantes se pueden diseñar zanjas de tipo convencional, con rotores horizontales. Para este caso se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ La forma de la zanja convencional es ovalada, con un simple tabique de nivel soportante en la mitad. Para una adecuada distribución de las líneas de flujo, se recomienda la instalación de por lo menos dos tabiques semicirculares localizados en los extremos, a 1/3 del ancho del canal.
- ✓ La entrada puede ser un simple tubo con descarga libre, localizado preferiblemente antes del rotor. Si se tiene más de dos zanjas se deberá considerar una caja de repartición de caudales.

- ✓ El rotor horizontal a seleccionarse debe ser de tal característica que permita la circulación del líquido con una velocidad de por lo menos 25 cm/seg. En este caso la profundidad de la zanja no deberá ser mayor de 1,50 m para una adecuada transferencia de momento. No es necesario la profundización del canal debajo de la zona de aeración.
- ✓ Los rotores son cuerpos cilíndricos de varios tipos, apoyados en cajas de rodamiento en sus extremos, por lo cual su longitud depende de la estructura y estabilidad de cada modelo. Para rotores de longitud mayor de 3,0 m se recomienda el uso de apoyos intermedios. Los apoyos en los extremos deben tener obligatoriamente cajas de rodets autoalineantes, capaces de absorber las deflexiones del rotor sin causar problemas mecánicos.
- ✓ La determinación de las características del rotor como diámetro, longitud, velocidad de rotación y profundidad de inmersión, debe efectuarse de modo que se puedan suministrar los requisitos de oxígeno al proceso en todas las condiciones operativas posibles. Para el efecto se debe disponer de las curvas características del rendimiento del modelo considerado en condiciones estándar. Los rendimientos estándares de rotores horizontales son del orden de 1,8 a 2,8 kg O<sub>2</sub>/Kwh.
- ✓ El procedimiento normal es diseñar primero el vertedero de salida de la zanja, el mismo que puede ser de altura fija o regulable y determinar el intervalo de inmersiones del rotor para las diferentes condiciones de operación.
- ✓ Para instalaciones de hasta 20 l/s se puede considerar el uso de zanjas de operación intermitente, sin sedimentadores secundarios. En este caso se debe proveer almacenamiento del desecho por un período de hasta 2 horas, ya sea en el interceptor o en una zanja accesoria.
- ✓ El conjunto motor-reductor debe ser escogido de tal manera que la velocidad de rotación sea entre 60 y 110 RPM y que la velocidad periférica del rotor sea alrededor de 2,5 m/s.

Para poblaciones mayores de 10000 habitantes se deberá considerar obligatoriamente la zanja de oxidación profunda (reactor de flujo orbital) con aeradores de eje vertical y de baja velocidad de rotación. Estos aeradores tienen la característica de transferir a la masa líquida en forma eficiente de modo que imparten una velocidad adecuada y un flujo de tipo helicoidal. Para este caso se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ La profundidad de la zanja será de 5 m y el ancho de 10 m como máximo. La densidad de energía deberá ser superior a 10 W/m<sup>3</sup>
- ✓ Los reactores pueden tener formas variadas, siempre que se localicen los aeradores en los extremos y en forma tangencial a los tabiques de separación. Se dan como guía los siguientes anchos y profundidades de los canales:

Habitantes equivalentes	Ancho (m)	Profundidad (m)
10000	5,00	1,50
25000	6,25	2,00
50000	8,00	3,50
75000	8,00	4,00
100000	9,00	4,50
200000	10,00	5,00

Con relación a la forma de los canales se dan las siguientes recomendaciones:

- ✓ La profundidad del canal debe ser entre 0,8 y 1,4 veces el diámetro del rotor seleccionado;
- ✓ El ancho de los canales debe ser entre 2 y 3 veces el diámetro del rotor seleccionado;
- ✓ La longitud desarrollada del canal no debe sobrepasar 250 m;

Para los aeradores de eje vertical se dan las siguientes recomendaciones:

- ✓ La velocidad de rotación para los aeradores pequeños debe ser de 36 a 40 RPM y para los aeradores grandes de 25 a 40 RPM.



- ✓ La distancia entre el fin del tabique divisorio y los extremos de las paletas del rotor debe ser alrededor de 1,5% del diámetro total del rotor (incluidas las paletas).
- ✓ La profundidad de inmersión del rotor debe ser de 0,15 a 0,20 m.
- ✓ La densidad de energía en la zona de mezcla total debe ser de 20 a 60 W/m<sup>3</sup>.

Se pueden considerar zanjas de oxidación de funcionamiento continuo con zonas de denitrificación antes de una zona de aeración. Para el efecto hay que considerar los siguientes aspectos:

- ✓ En el diseño de sedimentadores secundarios, para zanjas con denitrificación se debe asegurar un rápido retiro del lodo, para impedir la flotación del mismo.
- ✓ El vertedero de salida debe estar localizado al final de la zona de denitrificación.

#### **D. Filtros percoladores.**

Los filtros percoladores deberán diseñarse de modo que se reduzca al mínimo la utilización de equipo mecánico. Para ello se preferirá las siguientes opciones: lechos de piedra, distribución del efluente primario (tratado en tanques Imhoff) por medio de boquillas o mecanismos de brazo giratorios autopropulsados, sedimentadores secundarios sin mecanismos de barrido (con tolvas de lodos) y retorno del lodo secundario al tratamiento primario.

El tratamiento previo a los filtros percoladores será: cribas, desarenadores y sedimentación primaria.

Los filtros podrán ser de alta o baja carga, para lo cual se tendrán en consideración los siguientes parámetros de diseño:

Parámetro	Tipo decarga	
	Baja	Alta
Carga hidráulica, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	1,00 - 4,00	8,00 - 40,00
Carga orgánica, kg DBO/m <sup>3</sup> /d	0,08 - 0,40	0,40 - 4,80
Profundidad (lecho de piedra), m	1,50 - 3,00	1,00 - 2,00
(medio plástico), m	Hasta 12 m	
Razón de recirculación	0	1,00 - 2,00

En los filtros de baja carga la dosificación debe efectuarse por medio de sifones, con un intervalo de 5 minutos. Para los filtros de alta carga la dosificación es continua por efecto de la recirculación y en caso de usarse sifones, el intervalo de dosificación será inferior de 15 segundos.

Se utilizará cualquier sistema de distribución que garantice la repartición uniforme del efluente primario sobre la superficie del medio de contacto.

Cuando se usen boquillas fijas, se las ubicará en los vértices de triángulos equiláteros que cubran toda la superficie del filtro. El dimensionamiento de las tuberías dependerá de la distribución, la que puede ser intermitente o continua.

Se permitirá cualquier medio de contacto que promueva el desarrollo de la mayor cantidad de Biopelícula y que permita la libre circulación del líquido y del aire, sin producir obstrucciones.

Cuando se utilicen piedras pequeñas, el tamaño mínimo será de 25 mm y el máximo de 75 mm. Para piedras grandes, su tamaño oscilará entre 10 y 12 cm.

Se diseñará un sistema de ventilación de modo que exista una circulación natural del aire, por diferencia de temperatura, a través del sistema de drenaje y a través del lecho de contacto.

El sistema de drenaje debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Proveer un soporte físico al medio de contacto;
- Recolectar el líquido, para lo cual el fondo debe tener una pendiente entre 1 y 2%;
- Permitir una recirculación adecuada de aire.

El sistema de drenaje deberá cumplir con las siguientes recomendaciones:

- Los canales de recolección de agua deberán trabajar con un tirante máximo de 50% con relación a su máxima capacidad de conducción, y para tirantes mínimos deberá asegurar velocidades de arrastre.
- Deben ubicarse pozos de ventilación en los extremos del canal central de ventilación.
- En caso de filtros de gran superficie deben diseñarse pozos de ventilación en la periferia de la unidad. La superficie abierta de estos pozos será de 1 m<sup>2</sup> por cada 250 m<sup>2</sup> de superficie de lecho.
- El falso fondo del sistema de drenaje tendrá un área de orificios no menor a 15% del área total del filtro.
- En filtros de baja carga sin recirculación, el sistema de drenaje deberá diseñarse de modo que se pueda inundar el lecho para controlar el desarrollo de insectos.

Se deben diseñar instalaciones de sedimentación secundaria. El propósito de estas unidades es separar la biomasa en exceso producida en el filtro. El diseño podrá ser similar al de los sedimentadores primarios con la condición de que la carga de diseño se base en el flujo de la planta más el flujo de recirculación. La carga superficial no debe exceder de 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d basada en el caudal máximo.

#### **E. Sistemas Biológicos Rotativos de Contacto**

Son unidades que tienen un medio de contacto colocado en módulos discos o módulos cilíndricos que rotan alrededor de su eje. Los módulos discos o cilíndricos generalmente están sumergidos hasta 40% de su diámetro, de modo que al rotar permiten que la Biopelícula se ponga en contacto alternadamente con el efluente primario y con el aire. Las condiciones de aplicación de este proceso son similares a las de los filtros biológicos en lo que se refiere a eficiencia.

Necesariamente el tratamiento previo a los sistemas biológicos de contacto será: cribas, desarenadores y sedimentador primario.

Los módulos rotatorios pueden tener los siguientes medios de contacto:

- Discos de madera, material plástico o metal ubicados en forma paralela de modo que provean una alta superficie de contacto para el desarrollo de la Biopelícula;
- Mallas cilíndricas rellenas de material liviano.

Para el diseño de estas unidades se observará las siguientes recomendaciones:

- Carga hidráulica entre 0,03 y 0,16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.
- La velocidad periférica de rotación para aguas residuales municipales debe mantenerse alrededor de 0,3 m/s.
- El volumen mínimo de las unidades deben ser de 4,88 litros por cada m<sup>2</sup> de superficie de medio de contacto.
- Para módulos en serie se utilizará un mínimo de cuatro unidades.

El efluente de estos sistemas debe tratarse en un sedimentador secundario para separar la biomasa proveniente del reactor biológico. Los criterios de diseño de esta unidad son similares a los del sedimentador secundario de filtros biológicos.

## **V. Otros Tipos de Tratamiento.**

### **A. Aplicación sobre el terreno y reuso agrícola.**

La aplicación en el terreno de aguas residuales pretratadas es un tipo de tratamiento que puede o no producir un efluente final. Si existe reuso agrícola se deberá cumplir con los requisitos de la legislación vigente.

El estudio de factibilidad de estos sistemas debe incluir los aspectos agrícola y de suelos considerando por lo menos lo siguiente:

- Evaluación de suelos: problemas de salinidad, infiltración, drenaje, aguas subterráneas, etc.;
- Evaluación de la calidad del agua: posibles problemas de toxicidad, tolerancia de cultivos, etc.;
- Tipos de cultivos, formas de irrigación, necesidades de almacenamiento, obras de infraestructura, costos y rentabilidad.

Los tres principales procesos de aplicación en el terreno son: riego a tasa lenta, infiltración rápida y flujo superficial.

Para sistemas de riego de tasa lenta se sugieren los siguientes parámetros de diseño:

- Se escogerán suelos que tengan un buen drenaje y una permeabilidad no mayor de 5 cm/d.
- Pendiente del terreno: para cultivos 20% como máximo y para bosques hasta 40%.
- Profundidad de la napa freática: mínimo 1,5 m y preferiblemente más de 3 m.
- Pretratamiento requerido: según los lineamientos del numeral anterior.
- Requisitos de almacenamiento: se debe analizar cuidadosamente efectuando un balance hídrico. Las variables a considerarse son por lo menos:
  - ✓ Capacidad de infiltración.
  - ✓ Régimen de lluvias.
  - ✓ Tipo de suelo y de cultivo.
  - ✓ Evapotranspiración y evaporación.
  - ✓ Carga hidráulica aplicable.
  - ✓ Períodos de descanso.
  - ✓ Tratamiento adicional que se produce en el almacenamiento.
- La carga de nitrógeno se comprobará de modo que al efectuar el balance hídrico, la concentración calculada de nitratos en las aguas subterráneas sea inferior de 10 mg/l (como nitrógeno).
- La carga orgánica será entre 11 y 28 kg DBO / (ha.d), para impedir el desarrollo exagerado de biomasa. Las cargas bajas se utilizarán con efluentes secundarios y las cargas altas con efluentes primarios.
- Los períodos de descanso usualmente varía entre 1 y 2 semanas.
- Para defensa de la calidad del agua subterránea se preferirán los cultivos con alta utilización de nitrógeno.

Para los sistemas de infiltración rápida se recomiendan los siguientes parámetros:

- Se requieren suelos capaces de infiltrar de 10 a 60 cm/d, como arena, limos arenosos, arenas limosas y grava fina. Se requiere también un adecuado conocimiento de las variaciones del nivel freático.
- El pretratamiento requerido es primario como mínimo.
- La capa freática debe estar entre 3 y 4.5 m de profundidad como mínimo.

- La carga hidráulica puede variar entre 2 y 10 cm por semana, dependiendo de varios factores.
- Se debe determinar el almacenamiento necesario considerando las variables indicadas en el numeral anterior. Se debe mantener períodos de descanso entre 5 y 20 días para mantener condiciones aerobias en el suelo. Los períodos de aplicación se escogerán manteniendo una relación entre 2:1 a 7:1 entre el descanso y la aplicación.
- La carga orgánica recomendada debe mantenerse entre 10 y 60 kg DBO/ (ha.d).

Para los sistemas de flujo superficial se recomiendan los siguientes parámetros:

- Se requieren suelos arcillosos de baja permeabilidad.
- La pendiente del terreno debe estar entre 2 y 8% (preferiblemente 6%). Se requiere una superficie uniforme sin quebradas o cauces naturales, de modo que las aguas residuales puedan distribuirse en una capa de espesor uniforme en toda el área de aplicación.
- La superficie deberá cubrirse con pasto o cualquier otro tipo de vegetación similar que sea resistente a las condiciones de inundación y que provea un ambiente adecuado para el desarrollo de bacterias.
- El nivel freático debe estar 0.6 m por debajo como mínimo, para permitir una adecuada aeración de la zona de raíces.
- El pretratamiento requerido es primario como mínimo.
- Se pueden usar cargas orgánicas de hasta 76 kg DBO / (ha.d).

El sistema de aplicación debe ser intermitente, con una relación de 2:1 entre los períodos de descanso y de aplicación. Antes del corte o utilización de la vegetación para alimento de animales se debe permitir un período de descanso de 2 semanas como mínimo.

## **B. Filtros Intermitentes de Arena**

Son unidades utilizadas para la remoción de sólidos, DBO y algunos tipos de microorganismos.

En caso de utilizarse este proceso, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pretratamiento: primario como mínimo y recomendable secundario.
- Carga hidráulica: de 0.08 a 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d para efluente primario y de 0.2 a 0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d para efluente secundario.
- Lecho filtrante: material granular lavado con menos 1% por peso de materia orgánica. La arena tendrá un tamaño efectivo de 0.35 a 1.0 mm y un coeficiente de uniformidad menor que 4 (preferiblemente 3.5). La profundidad del lecho podrá variar entre 0.60 y 0.90 m.
- El sistema de drenaje consiste en tubos con juntas abiertas o con perforaciones y un tubo de ventilación al extremo aguas arriba. La pendiente de los tubos será de 0.5 y 1%. Bajo las tuberías se colocará un lecho de soporte constituido por grava o piedra triturada de 0.6 a 3.8 cm de diámetro.
- La distribución del afluente se efectuará por medio de canaletas o por aspersión. Se deben colocar placas protectoras de hormigón para impedir la erosión del medio filtrante.
- El afluente debe dosificarse con una frecuencia mínima de 2 veces al día, inundando el filtro hasta 5 cm de profundidad.
- El número mínimo de unidades es dos. Para operación continua, una de las unidades debe ser capaz de tratar todo el caudal, mientras la otra unidad está en mantenimiento o alternativamente se debe proveer almacenamiento del desecho durante el período de mantenimiento.

### **C. Tratamientos Anaerobios de Flujo Ascendente**

El tratamiento anaerobio de flujo ascendente es una modificación del proceso de contacto anaerobio desarrollado hace varias décadas y consiste en un reactor en el cual el efluente es introducido a través de un sistema de distribución localizado en el fondo y que fluye hacia arriba atravesando un medio de contacto anaerobio. En la parte superior existe una zona de separación de fase líquida y gaseosa y el efluente clarificado sale por la parte superior. Los tiempos de permanencia de estos procesos son relativamente cortos. Existen básicamente diversos tipos de reactores, los más usuales son:

- El de lecho fluidizado, en el cual el medio de contacto es un material granular (normalmente arena). El efluente se aplica en el fondo a una tasa controlada (generalmente se requiere de recirculación) para producir la fluidización del medio de contacto y la biomasa se desarrolla alrededor de los granos del medio.
- El reactor de flujo ascendente con manto de lodos (conocido como RAFA o UASB por las siglas en inglés) en el cual el desecho fluye en forma ascendente a través de una zona de manto de lodos.

Para determinar las condiciones de aplicación se requiere analizar las ventajas y desventajas del proceso. Las principales ventajas del proceso son:

- ✓ Eliminación del proceso de sedimentación;
- ✓ Relativamente corto período de retención;
- ✓ Producción de biogás; y
- ✓ Aplicabilidad a desechos de alta concentración. Las principales desventajas del proceso son:
- ✓ Control operacional especializado y de alto costo;
- ✓ Muy limitada remoción de bacterias y aparentemente nula remoción de parásitos;
- ✓ Sensibilidad de los sistemas anaerobios a cambios bruscos de carga y temperatura;
- ✓ Difícil aplicación del proceso a desechos de baja concentración;
- ✓ Problemas operativos que implican la necesidad de operación calificada para el control del proceso;
- ✓ Deterioro de la estructura por efecto de la corrosión;
- ✓ Necesidad de tratamiento posterior, principalmente porque el proceso transforma el nitrógeno orgánico a amoníaco, lo cual impone una demanda de oxígeno adicional y presenta la posibilidad de toxicidad; e



- ✓ Insuficiente información para aguas residuales de baja carga.

Luego de un análisis realista de gran cantidad de información sobre el proceso se establecen las siguientes condiciones de aplicación:

- La práctica de estos procesos en el tratamiento de aguas residuales de ciudades de varios tamaños no tiene un historial suficientemente largo como para considerarlos como una tecnología establecida. La variante de lechos fluidizados presenta menor experiencia que la variante de flujo ascendente con manto de lodos.
- Sin embargo, el uso de los mismos para el tratamiento de desechos industriales concentrados parece aceptable actualmente.
- Previo al diseño definitivo es recomendable que los criterios de diseño sean determinados experimentalmente mediante el uso de plantas piloto.

Dado que los sistemas de lechos anaerobios fluidizados requieren de un mayor grado de mecanización y operación especializada, su uso deberá ser justificado ante la autoridad competente. Los criterios de diseño se determinarán a través de plantas piloto.

Para orientar el diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente se dan los siguientes parámetros referenciales:

- El tratamiento previo debe ser cribas y desarenadores.
- Cargas del diseño.
  - ✓ 1.5 a 2.0 kg DQO / (m<sup>3</sup>.día) para aguas residuales domésticas.
  - ✓ 15 a 20 kg DQO / (m<sup>3</sup>.día) para desechos orgánicos concentrados (desechos industriales).
- Sedimentador
  - ✓ Carga superficial 1.2 a 1.5 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.h), calculada en base al caudal máximo horario.

Altura:

- ✓ 1.5 m para aguas residuales domésticas.
- ✓ 1.5 a 2.0 m para desechos de alta carga orgánica.

Inclinación de paredes: 50 a 60°

- ✓ Deflectores de gas: en la arista central de los sedimentadores se dejará una abertura para el paso de sólidos de 0,15 a 0,20 m uno de los lados deberá prolongarse de modo que impida el paso de gases hacia el sedimentador; esta prolongación deberá tener una proyección horizontal de 0,15 a 0,20 m.

- ✓ Velocidad de paso por las aberturas:

3 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.h) para desechos de alta carga orgánica, calculado en base al caudal máximo horario.

5 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.h) para aguas residuales domésticas, calculado en base al caudal máximo horario.

- Reactor anaerobio

- ✓ Velocidad ascensional: 1.0 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.h), calculado en base al caudal máximo horario.

- ✓ Altura del reactor: 5 a 7 m para desechos de Alta carga orgánica 3 a 5 m para aguas residuales domésticas.

- Sistema de alimentación:

Se deberá lograr una distribución uniforme del agua residual en el fondo del reactor. Para tal efecto deberá proveerse de una cantidad mínima de puntos de alimentación:

- ✓ 2 a 5 m<sup>2</sup>/punto de alimentación, para efluentes de alta carga orgánica.

- ✓ 0.5 a 2 m<sup>2</sup>/punto de alimentación, para aguas residuales domésticas.

Las tuberías de alimentación deben estar a una altura de 0.20 m sobre la base del reactor.

- Colectores de gas

En la parte superior del sistema debe existir un área para liberar el gas producido. Esta área podrá estar localizada alrededor del sedimentador en la dirección transversal o longitudinal. La velocidad del gas en esta área debe ser lo suficientemente alta para evitar la acumulación de espumas y la turbulencia excesiva que provoque el arrastre de sólidos.

La velocidad de salida del gas se encontrará entre los siguientes valores:

- ✓ 3 a 5 m<sup>3</sup> de gas/ (m<sup>2</sup>.h), para desechos de alta carga orgánica.
- ✓ 1 m<sup>3</sup> de gas/ (m<sup>2</sup>.h), para aguas residuales domésticas.

De no lograrse estas velocidades se deberá proveer al reactor de sistemas de dispersión y retiro de spumes.

- La altura total del reactor anaerobio (RAFA) de flujo ascendente será la suma de la altura del sedimentador, la altura del reactor anaerobio y un borde libre.
- Volumen del RAFA: para aguas residuales domésticas se recomienda diseñar un sistema modular con unidades en paralelo. Se recomienda módulos con un volumen máximo de 400 m<sup>3</sup>. En ningún caso deberá proyectarse módulos de más de 1500 m<sup>3</sup> para favorecer la operación y mantenimiento de los mismos.

Para el diseño de estas unidades el proyectista deberá justificar la determinación de valores para los siguientes aspectos:

- Eficiencias de remoción de la materia orgánica, de coliformes y nematodos intestinales.
- La cantidad de lodo biológico producido y la forma de disposición final.
- Distribución uniforme de la descarga.

- La cantidad de gas producida y los dispositivos para control y manejo.
- Los requisitos mínimos de postratamiento.
- Para este tipo de proceso se deberá presentar el manual de operación y mantenimiento, con indicación de los parámetros de control del proceso, el dimensionamiento del personal y las calificaciones mínimas del personal de operación y mantenimiento.

#### **D. Desinfección.**

La reducción de bacterias se efectuará a través de procesos de tratamiento. Solamente en el caso que el cuerpo receptor demande una alta calidad bacteriológica, se considerará la desinfección de efluentes secundarios o terciarios, en forma intermitente o continua. La desinfección de desechos crudos o efluentes primarios no se considera una opción técnicamente aceptable.

Para el diseño de instalaciones de cloración el proyectista deberá sustentar los diferentes aspectos:

- La dosis de cloro;
- El tiempo de contacto y el diseño de la correspondiente cámara;
- Los detalles de las instalaciones de dosificación, inyección, almacenamiento y dispositivos de seguridad.

La utilización de otras técnicas de desinfección (radiación ultravioleta, ozono y otros) deberán sustentarse en el estudio de factibilidad.

#### **VI. Tratamiento terciario de aguas residuales**

Cuando el grado del tratamiento fijado de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor o de aprovechamiento sea mayor que el que se pueda obtener mediante el tratamiento secundario, se deberán utilizar métodos de tratamiento terciario o avanzado.

La técnica a emplear deberá estar sustentada en el estudio de factibilidad. El proyectista deberá sustentar sus criterios de diseño a través de ensayos de tratabilidad.

Entre estos métodos se incluyen los siguientes:

- a) Ósmosis Inversa
- b) Electrodiálisis
- c) Destilación
- d) Coagulación
- e) Adsorción
- f) Remoción por espuma
- g) Filtración
- h) Extracción por solvente
- i) Intercambio iónico
- j) Oxidación química
- k) Precipitación
- l) Nitrificación - Denitrificación

## **VII. Tratamiento de lodos.**

Para proceder al diseño de instalaciones de tratamiento de lodos, se realizará un cálculo de la producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, debiéndose tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El cálculo se realizará para caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más frío.
- Para lodos primarios se determinará el volumen y masa de sólidos en suspensión totales y volátiles teniendo en consideración los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.
- Para procesos de tratamiento biológico como los de lodos activados y filtros biológicos se determinará la masa de lodos biológicos producido por síntesis de la materia orgánica menos la cantidad destruida por respiración endógena.
- En los procesos de lodos activados con descarga de lodos directamente desde el tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir del parámetro de edad del lodo. En este caso la concentración del lodo de exceso es la misma que la del tanque de aeración.

- En los procesos de lodos activados con descarga del lodo de exceso antes del tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir de la concentración de lodo reciclado del fondo del sedimentador secundario.

Se tendrá en consideración además las cantidades de lodos de fuentes exteriores, como tanques sépticos.

Los lodos de zanjas de oxidación y aeración prolongada no requieren otro proceso de tratamiento que el de deshidratación, generalmente en lechos de secado.

Los lodos de otros sistemas de tratamiento de lodos activados y filtros biológicos necesitan ser estabilizados. Para el efecto se escogerán procesos que sean de bajo costo y de operación y mantenimiento sencillos.

La estabilización de lodos biológicos se sustentará con un estudio técnico económico.

Para la digestión anaerobia se considerará las siguientes alternativas:

- Digestión anaerobia en dos etapas con recuperación de gas.
- Sistemas de digestión anaerobia abiertos (sin recuperación de gas), como:
- Digestores convencionales abiertos y lagunas de lodos.

Para la disposición de lodos estabilizados se considerarán las siguientes opciones:

- Lechos de secado;
- Lagunas de secado de lodos;
- Disposición en el terreno del lodo sin deshidratar; y
- Otros con previa justificación técnica.

El proyectista deberá justificar técnica y económicamente el sistema de almacenamiento, disposición final y utilización de lodos deshidratados.

## **A. Digestión Anaerobia**

La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. El lodo ya estabilizado puede ser procesado sin problemas de malos olores. Se evaluará cuidadosamente la aplicación de este proceso cuando la temperatura sea menor de 15°C o cuando exista presencia de tóxicos o inhibidores biológicos.

Se deberá considerar el proceso de digestión anaerobia para los siguientes casos:

- Para lodos de plantas primarias;
- Para lodo primario y secundario de plantas de tratamiento con filtros biológicos;
- Para lodo primario y secundario de plantas de lodos activados, exceptuando los casos de plantas de aeración prolongada.

Cuando desea recuperar el gas del proceso, se puede diseñar un proceso de digestión de dos etapas, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El volumen de digestión de la primera etapa se determinará adoptando una carga de 1.6 a 8.0 kg SSV/ (m<sup>3</sup>.d), las mismas que corresponden a valores de tasas altas. En climas cálidos se usarán cargas más altas y en climas templados se usarán cargas más bajas.
- El contenido de sólidos en el lodo tiene gran influencia en el tiempo de retención de sólidos. Se comprobará el tiempo de retención de sólidos de la primera etapa, de acuerdo con los valores que se indican y si es necesario se procederá a reajustar la carga:

Temperatura, °C	Tiempo de retención, d
Promedio del mes más frío	
18	28
24	20
30	14
35 (*)	10
40 (*)	10

(\*) Válido para sistemas con calentamiento.

Temperatura, °C	Tiempo de retención en días
Promedio del mes más frío	
15	60
20	47
25	37
30	33

- ✓ Los digestores abiertos pueden ser tanques circulares cuadrados o lagunas de lodos y en ningún caso deberá proponerse sistemas con calentamiento.
- ✓ No es recomendable la aplicación de estos sistemas para temperaturas promedio mensuales menores de 15 °C.

## **B. Lagunas De Lodos.**

Las lagunas de lodos pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos digeridos. Su profundidad está comprendida entre 3 y 5 m y su superficie se determinará con el uso de una carga superficial entre 0.1 y 0.25 kg SSV / (m<sup>2</sup>.d). Para evitar la presencia de malos olores se deben usar cargas hacia el lado bajo.

Los parámetros de dimensionamiento de una laguna de digestión de lodos son los de digestores de baja carga.

Las lagunas de lodos deben diseñarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los diques y fondos de estas lagunas tendrán preferiblemente recubrimiento impermeabilizante;
- Los taludes de los diques pueden ser más inclinados que los de lagunas de estabilización;



- Se deben incluir dispositivos para la remoción del lodo digerido en el fondo y del sobrenadante, en por lo menos tres niveles superiores;
- Se deberán incluir dispositivos de limpieza y facilidades de circulación de vehículos, rampas de acceso, etc.

### **C. Aplicación de lodos sobre el terreno**

Los lodos estabilizados contienen nutrientes que pueden ser aprovechados como acondicionador de suelos.

Los lodos estabilizados pueden ser aplicados en estado líquido directamente sobre el terreno, siempre que se haya removido por lo menos 55% de los sólidos volátiles suspendidos.

Los terrenos donde se apliquen lodos deberán estar ubicados por lo menos a 500 m de la vivienda más cercana. El terreno deberá estar protegido contra la escorrentía de aguas de lluvias y no deberá tener acceso del público.

El terreno deberá tener una pendiente inferior de 6% y su suelo deberá tener una tasa de infiltración entre 1 a 6 cm/h con buen drenaje, de composición química alcalina o neutra, debe ser profundo y de textura fina. El nivel freático debe estar ubicado por lo menos a 10 m de profundidad.

Deberá tenerse en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- Concentración de metales pesados en los lodos y compatibilidad con los niveles máximos permisibles;
- Cantidad de cationes en los lodos y capacidad de intercambio iónico;
- Tipos de cultivo y formas de riego, etc.

### **D. Remoción de Lodos de las Lagunas de Estabilización**

Para la remoción de lodos de las lagunas primarias, se procederá al drenaje mediante el uso de sifones u otro dispositivo. Las lagunas deberán drenarse hasta alcanzar un nivel que permita la exposición del lodo al ambiente. La operación de secado debe efectuarse en la estación seca.

Durante esta operación el agua residual debe idealmente tratarse sobrecargando otras unidades en paralelo.

El lodo del fondo debe dejarse secar a la intemperie. El mecanismo de secado es exclusivamente por evaporación y su duración depende de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura.

El lodo seco puede ser removido en forma manual o con la ayuda de equipo mecánico. En el diseño de lagunas deberá considerarse las rampas de acceso de equipo pesado para la remoción de lodos.

El lodo seco debe almacenarse en pilas de hasta 2 m por un tiempo mínimo de 6 meses, previo a su uso como acondicionador de suelos. De no usarse deberá disponerse en un relleno sanitario.

Alternativamente se podrá remover el lodo de lagunas primarias por dragado o bombeo a una laguna de secado de lodos.

El proyectista deberá especificar la frecuencia del período de remoción de lodos, este valor deberá estar consignado en el manual de operación de la planta.

#### **E. Lechos de Secado.**

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados.

Previo al dimensionamiento de los lechos se calculará la masa y volumen de los lodos estabilizados.

En el caso de zanjas de oxidación el contenido de sólidos en el lodo es conocido. En el caso de lodos digeridos anaerobiamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de 50 a 55% de sólidos volátiles. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- Para el lodo primario digerido: de 8 a 12% de sólidos.

- Para el lodo digerido de procesos biológicos, incluido el lodo primario: de 6 a 10% de sólidos.

Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se debe tener en cuenta los siguientes períodos de operación:

- Período de aplicación: 4 a 6 horas;
- Período de secado: entre 3 y 4 semanas para climas cálidos y entre 4 y 8 semanas para climas más fríos;
- Período de remoción del lodo seco: entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual (dependiendo de la forma de los lechos) y entre 1 y 2 días para instalaciones pavimentadas en las cuales se pueden remover el lodo seco, con equipo.

Adicionalmente se comprobarán los requisitos de área teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

Tipo de lodo digerido	kg sólidos / (m <sup>2</sup> .año)
Primario	120 - 200
Primario y filtros percoladores	100 - 160
Primario y lodos activados	60 - 100
Zanjas de oxidación	

Para el diseño de lechos de secado se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pueden ser construidos de mampostería, de concreto o de tierra (con diques) con profundidad total útil de 50 a 60 cm. El ancho de los lechos es generalmente de 3 a 6 m, pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.
- El medio de drenaje es generalmente es de 0,3 m de espesor y debe tener los siguientes componentes:
- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm llena de arena. La arena es el

medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6” y 2”), de 0.20 m de espesor.

- Los drenes deben estar constituidos por tubos de 100 mm de diámetro instalados debajo de la grava.
- Alternativamente se puede diseñar lechos pavimentados con losas de concreto o losas prefabricadas, con una pendiente de 1.5% hacia el canal central de drenaje. Las dimensiones de estos lechos son: de 5 a 15 m de ancho, por 20 a 45 m de largo.
- Para cada lecho se debe proveer una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y loseta en el fondo para impedir la destrucción del lecho.

## **2.6.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE MÉXICO.**

### **2.6.2.1. Principios básicos del tratamiento de aguas residuales.**

#### **I. Calidad y normatividad.**

En México, los servicios públicos relacionados con los servicios del agua se presentan en el artículo 115 constitucional y menciona lo siguiente:

Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

- a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales;

Esta facultad se ejerce en el marco de las leyes federales y estatales. Por otro lado, la Ley de Aguas Nacionales tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

En la siguiente Tabla se presentan las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales.

No.	Nombre
1	NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales
2	NOM-002-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
3	NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público
4	NOM-004-SEMARNAT-2002. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final
5	NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada
6	NOM-015-CONAGUA-2007. Características y especificaciones de las obras y del agua para infiltración artificial a acuíferos

En la siguiente Tabla se presentan los datos más consultados de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Parámetros	Ríos						Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras						Suelo		Humedales Naturales	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		(B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura, °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40.	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	Aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.	aus.
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

P.M. - Promedio Mensual; P.D. - Promedio Diario; N.A. - No es aplicable; aus. ausente.

(A), (B), (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

(1) Instantáneo; (2) Muestra Simple Promedio Ponderado; (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

Para la medición de la materia orgánica contenida en el agua residual además del carbono orgánico total (COT), se utiliza la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). A continuación se describen cada una de estas pruebas.

**a. Demanda bioquímica de oxígeno.** La prueba de DBO estima el oxígeno gastado en la descomposición de una muestra residual, y es, efectivamente, una simulación de laboratorio del proceso microbiano de autopurificación. Se trata de una prueba de largo tiempo establecida, propuesta originalmente en 1913, con una amplia aceptación. Se diluye, de manera conveniente, una muestra de agua residual con cierto contenido de residuos y microorganismos. Se mide la concentración del oxígeno disuelto, se incubaba la mezcla a una temperatura ya determinada y, después de cierto tiempo prefijado, se mide de nuevo la concentración de oxígeno disuelto. El cambio en la cantidad de oxígeno disuelto, da la cantidad de oxígeno no utilizado durante este tiempo por los microorganismos al metabolizar nutrientes de dicha cantidad de muestra de agua residual. De este resultado se calcula la cantidad de oxígeno requerido para el tratamiento similar de un volumen real de agua residual en g/m<sup>3</sup> o mg/litro. Se debe tener cautela tanto en el funcionamiento de la prueba como en la interpretación de sus resultados. Como la prueba DBO es esencialmente un sistema microbiano de crecimiento, la mezcla de microorganismos utilizados debe contenerlos tipos capaces de metabolizar las sustancias presentes en la muestra de agua residual. Además, las sustancias presentes en la prueba deben suministrar un razonable balance nutricional para los microorganismos.

Las limitaciones de la prueba de DBO, especialmente, es el largo periodo que transcurre entre el momento en que se toma la muestra y se obtiene el resultado, y esto ha llevado a realizar pruebas químicas para evaluar la demanda de oxígeno. La oxidación de los contaminantes en la muestra se efectúa usando un agente químico oxidante, los de uso más común son el permanganato ácido de potasio, el dicromato ácido y el oxígeno a altas temperaturas.

**b. Demanda química de oxígeno.** Es el oxígeno tomado por una muestra de agua residual del dicromato de potasio después de o tres horas de reflujo o digestión con ácido sulfúrico concentrado. Casi todas las sustancias orgánicas se oxidan virtualmente en su totalidad por este procedimiento, con la excepción de ciertos compuestos aromáticos, como la piridina, el benceno o el tolueno. El valor de DQO da por tanto, una idea del contenido

orgánico total de una muestra de agua residual, sea o no biodegradable, de manera que la relación DBO/DQO constituye un indicador para la materia orgánica presente y que son biodegradable. En la Tabla 1.1, se presenta una comparación entre la DBO y la demanda química de oxígeno. La DQO puede separarse en soluble y total. La DQO soluble, representa la fracción biodegradable y se requiere un tratamiento previo de la muestra, la cual estrictamente debe incluir coagulación-floculación, aunque frecuentemente se utiliza la filtración.

Tabla 1.1 Comparación entre el DBO y DQO.

DBO	DQO
Tiempo prolongado de análisis	Análisis rápido
Baja reproducibilidad	Altamente reproducible
Esmáscomúnparaeldiseño aerobio	Escomúneneldiseñode sistemas anaerobios
No asegura nitrificación	No permite la oxidación del $\text{NH}_4^+$
Medición directa de la biodegradabilidad	Biodegradabilidad solo con gradientes de medición
No es posible el balance de electrones	El balance de electrones se basa en la medición

**c. Carbono orgánico total.** Esta prueba consiste en la inyección de micro litros de una muestra de agua residual en un tubo que contiene un catalizador y que se mantiene a 900 grados Celsius. El anhídrido carbónico producido por la oxidación de cualquier materia carbonácea presente, es detectado por un analizador infrarrojo. El carbono inorgánico, como los carbonatos, se puede eliminar antes de la oxidación o medirse para su discriminación. Se debe recordar que aunque el carbono orgánico es la principal fuente en la demanda de oxígeno, no es, de ninguna manera el único entre los compuestos orgánicos.

**d. Amoniaco.** El amoniaco, como iones amonio o como amoniaco libre, es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia, ya que además de ser un producto natural de descomposición, es un producto industrial clave. El amoniaco reduce la efectividad en la cloración, que se usa como etapa final del tratamiento para eliminar trazas de materia

orgánica y microorganismos patógenos. Además ejerce una demanda muy alta de oxígeno, requiriendo más de 4.5 veces su propio peso de oxígeno para su completa oxidación.

**e. Sólidos suspendidos totales.** Abreviado SST, es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide mg/Litro.

**f. Sólidos disueltos totales.** Por sus siglas SDT, es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica.

**g. Sólidos sedimentables.** Son aquellos sólidos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora. Se determinan volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.

## **II. Análisis Del Proceso.**

La prevención de la contaminación del agua y del suelo sólo es posible si se definen técnicas apropiadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo, ningún programa de control es exitoso si no se cuenta con los recursos financieros para su implantación, operación y mantenimiento permanente.

De acuerdo con diferentes estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que la cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80 a 270 gramos por persona por día, la cantidad de orina es de 1 a 1.3 kg por persona por día y que un 20 por ciento de la materia fecal y un 2.5 por ciento de la orina se compone de material orgánico putrescible, con olor, ofensivo y su disposición sin control representa un riesgo para la salud. La descarga de aguas residuales crudas a cuerpo de agua en exceso de su capacidad de asimilación de contaminantes, resulta en una disminución en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre.

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores.



De un modo general, el tratamiento persigue evitar:

- Contaminación a las fuentes de abastecimientos públicos, privados e industriales
- Contaminación a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento
- Contaminación a las actividades piscícolas
- Perjuicios a la agricultura y depreciación del valor de la tierra
- Impacto al entorno ecológico

El tratamiento de las aguas residuales ha sido una consecuencia del desarrollo de la civilización y se caracteriza por el aumento de la densidad demográfica y expansión industrial. Las razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales pueden ser resumidas en cuatro puntos:

- Razones de salud pública
- Razones legales
- Razones económicas

En la concepción clásica del problema de la contaminación del agua, los ríos se consideran los receptores naturales de las aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes. La carga, o concentración de contaminantes y nutrientes, constituye el objeto de la regulación por parte de leyes, decretos y normas para el establecimiento de la calidad apropiada del agua, de acuerdo con los diferentes usos aplicables a ella.

En la formulación, planeación y diseño de un sistema de tratamiento se consideran objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y eventualmente, motivaciones ecológicas.

En un desarrollo gradual de sistemas de tratamiento se consideran, como objetivos principales del tratamiento de aguas residuales:

- Remoción de materia orgánica
- Remoción de sólidos suspendidos

- Remoción de patógenos

Así mismo, niveles más estrictos de tratamientos consideran

- Remoción de nitrógeno y fósforo
- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas
- Remoción de trazas de metales pesados
- Remoción de sustancias inorgánicas disueltas

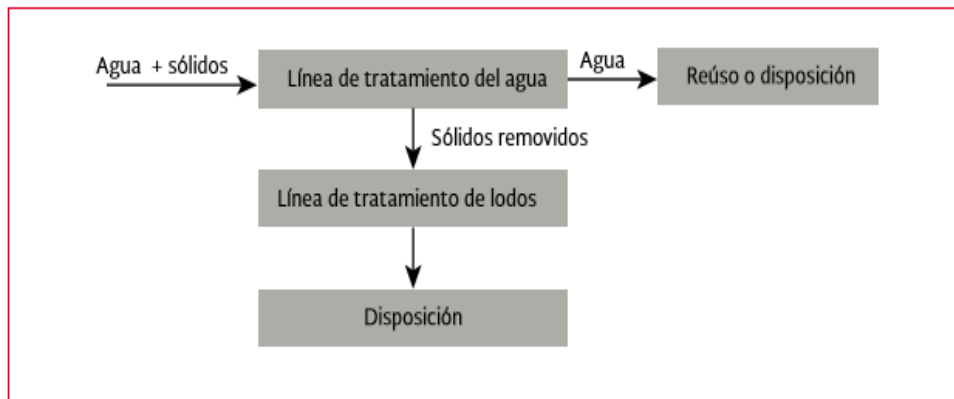
Si un fluido contiene un componente no distribuido homogéneamente, es decir, existe un gradiente de concentración, actúan fuerzas naturales para la transferencia de masa y la reducción de las diferencias de concentración. La difusión, transporte o distribución de un componente en un medio; la adsorción de sustancias sobre los poros del carbón activado y del oxígeno de las burbujas en un tanque de aireación; la remoción del agua de los lodos químicos biológicos, y el arrastre de gases disueltos, son ejemplos típicos de procesos de transporte efectuados por gradientes de concentración.

El tiempo requerido para que una sustancia se distribuya homogéneamente en un sistema de tratamiento es variable. Si el sistema es mezclado, las características del flujo hacen que los gradientes de concentración disminuyan rápidamente; por el contrario, en un sistema en reposo, el mecanismo de transporte o transferencia de masa es el movimiento molecular aleatorio de las moléculas. Estos dos métodos de transporte se conocen como transporte convectivo de masa y transporte molecular o difusivo de masa, respectivamente.

El tratamiento de aguas se hace en tanques de diferentes tipos y formas, en condiciones de control diversas. Las transformaciones biológicas y químicas, que ocurren en dichos reactores, por lo general se concretan en la formación de un flóculo biológico o flóculo químico, que se separa del medio líquido generalmente en un sedimentador. El éxito del sistema de tratamiento depende de la capacidad del flóculo para la captura y reducción de los sólidos del agua, así como de la eficiencia del sedimentador para su remoción. Por otro lado, e incluso para fines de evaluación, es importante señalar las líneas que podrían intervenir en el proceso de tratamiento (figura 2.12):

- Línea de agua
- Línea de lodos
- Línea de aire
- Línea de químicos
- Control y automatización

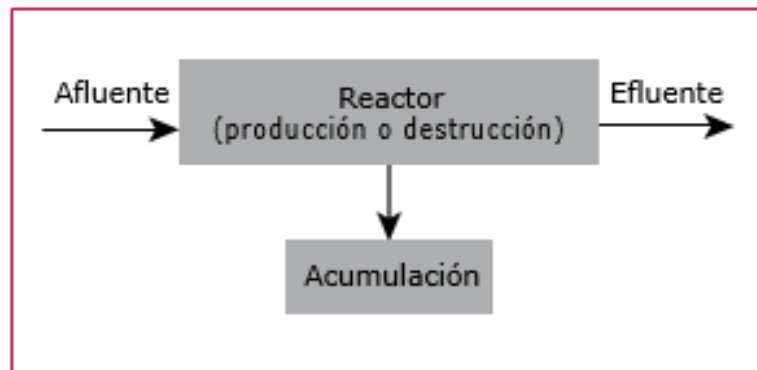
Figura 2.12 Representación esquemática del tratamiento de aguas



Dentro de un reactor, tanque o sección de un río o un lago, una sustancia reacciona de diferentes maneras, el fenómeno se muestra en la figura 2.13, la sustancia es transportada al reactor a través del afluente y ya extraída, se obtiene un efluente con cierta calidad. El transporte por convección o advección propaga la sustancia por el movimiento del flujo; la dispersión disemina la sustancia en el reactor mediante el movimiento aleatorio de las moléculas y es función de la turbulencia. La sustancia reacciona física, química o biológicamente dentro del reactor, para que se obtenga una producción o destrucción de la misma. Durante el tiempo para el cual la sustancia reside en el reactor, su mecanismo de reacción produce una alteración en su concentración, la cual se visualiza por el balance general de masa de la siguiente ecuación:

$$\text{Acumulción} = \text{afluente} - \text{efluente} + \text{generación}$$

Figura 2.13 Descripción del proceso de un reactor.



El término: *afluente – efluente*; representa el transporte neto de sustancia al reactor, el término generación se refiere a la producción o destrucción neta debida a la reacción o proceso dentro del reactor y el término acumulación representa el residuo.

Los reactores usados en el tratamiento de aguas, de acuerdo con su conformación física, equipo, mecanismos de operación, régimen de flujo y características hidráulicas, actúan de manera diferente y constituyen un elemento esencial en el cumplimiento de las metas del proceso de tratamiento.

La complejidad del sistema de tratamiento es función de los objetivos propuestos. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos unitarios disponibles para tratamiento de aguas, hasta a finales del siglo pasado era común hablar de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario de aguas residuales, como una manera de clasificar, siguiendo el orden de aparición, a las unidades de las plantas de tratamiento (cuadro 2.8), y aunque por convencionalismos y lenguaje operativo aún se sigue utilizando, en los textos y publicaciones de los últimos años se ha optado por diferencias las unidades que incluyen una reacción, ya sea de tipo biológica o química, de aquellas que solo implican un efecto físico.

Cuadro 2.8 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Clasificación	Remueve	Proceso
Tratamiento primario	Arenas Partículas gruesas Sólidos suspendidos	Rejillas desarenadores sedimentación
Tratamiento secundario	Materia orgánica disuelta	Tratamiento biológico (ej. lodos activados)
Tratamiento terciario	Nitrógeno Fósforo Materia coloidal	Desnitrificación-nitrificación Remoción de fósforo Coagulación-floculación
Tratamiento avanzado	Patógenos Microcontaminantes	Desinfección Oxidación forzada

### III. Criterios para el análisis y selección de alternativas

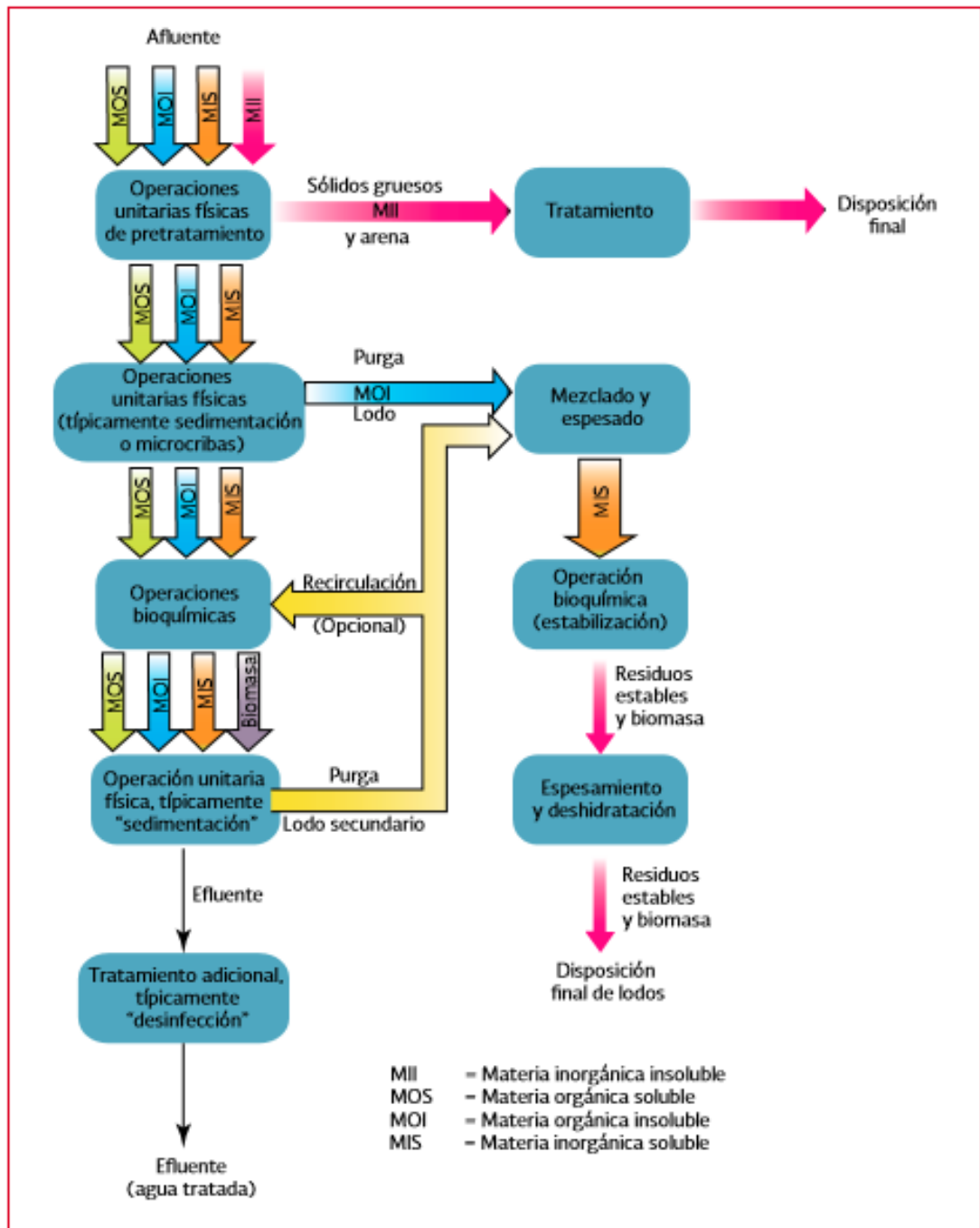
El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es uno de los aspectos más desafiantes de la ingeniería. Los conocimientos técnicos y experiencias prácticas son necesarios en la selección y análisis de los procesos de tratamiento. Los principales elementos que intervienen en la selección de los procesos de tratamiento son:

- Caudal y calidad del agua residual cruda
- Requerimientos de la calidad del agua residual tratada
- Requerimientos de energía
- Disponibilidad de terreno
- Evaluación de costos o Inversión
- ✓ Operación y mantenimiento
- Impacto ambiental
- Producción de lodos residuales
- En caso que aplique
- ✓ Calidad del agua subterránea.
- ✓ Demanda del caudal de agua residual tratada para su reúso
- ✓ Compatibilidad con las instalaciones existentes

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, para el análisis, se debe contar al menos, con el dimensionamiento básico de cada alternativa de tratamiento que permita obtener los requerimientos de área, demanda de energía, así como el costo de operación y mantenimiento por metro cúbico de agua tratada. Esta evaluación es necesaria llevarla a cabo bajo las mismas condiciones de caudal y calidad, de entrada y salida.

La determinación de los requerimientos de calidad para el agua residual tratada es función de la NOM-001-SEMARNAT-1996, de acuerdo con al tipo del cuerpo receptor (A, B, C), que se establece en la Ley Federal de Derechos, a menos que se considere el reúso, para lo cual se tendrá que acudir a la norma correspondiente.

Figura 2.14 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales



## 2.6.2.2. Operaciones y procesos unitarios de tratamiento

El propósito del pretratamiento es remover, reducir o modificar constituyentes del agua residual que puedan causar problemas operacionales o incrementar el mantenimiento de los equipos electromecánicos, por tal motivo es práctica común y recomendada que se encuentren previos a los equipos de bombeo. Los constituyentes a remover en esta etapa consisten en sólidos gruesos, materiales inertes abrasivos, sólidos flotantes o grasas.

### I. Cribado por medio de rejillas

La operación de cribado se emplea para remover el material grueso, generalmente flotante, contenido en algunas aguas residuales crudas, que puede obstruir o dañar bombas, tuberías y equipos de las plantas de tratamiento o interferir con la buena operación de los procesos de tratamiento. El cribado puede ser fino, por medio de mallas de alambre grueso o por medio de rejillas.

#### A. Características de las unidades.

Las rejillas consisten en barras metálicas, verticales o inclinadas, espaciadas de 16 a 76 mm y colocadas en los canales de acceso a las plantas, antes de las estaciones de bombeo. Los sistemas de limpieza de las rejillas pueden ser manuales o automáticos. Las barras pueden ser rectangulares o cuadradas con uno o ambos extremos redondeados. En la Cuadro 2.9 se indican las características más comunes de rejillas.

Cuadro 2.9 Características de rejillas.

Concepto	Tipo de Rejilla	
	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
Espesor de las barras (cm)	0.6 a 1.6	0.6 a 1.6
Espaciamiento entre barras (cm)	2.5 a 5.1	1.6 a 7.6
Pendiente con la horizontal (°)	30 a 60	0 a 30
Velocidad de llegada del agua (cm / s)	30 a 60	60 a 90
Pérdida permisible de carga en las rejillas (cm)	15	15
Profundidad útil del canal (cm)	30	30



## **B. Criterios de diseño.**

Los sistemas de cribado son diseñados en función de los gastos pico de la planta. El número de barras en el canal se define en función del espaciamiento entre ellas y su ancho. El espaciamiento entre barras, como se mencionó en la tabla anterior, varía entre 2.5 y 5.1 cm para rejillas de limpieza manual, y 1.6 a 7.6 cm para rejillas de limpieza automática. En aguas residuales municipales se recomienda una separación de 2.5 cm y un ancho de barras de 0.8 centímetros.

## **II. Desarenado.**

La desarenación es una operación unitaria que se emplea para remover gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales municipales, que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de una planta de tratamiento. La desarenación se ubica generalmente después del cribado y antes de la sedimentación primaria.

Con esta operación se busca remover el 100 por ciento de las partículas inorgánicas (densidad= 2.65 g/cm<sup>3</sup>) de un tamaño igual o mayor a 0.21 mm (malla #65), y dejar en suspensión el material orgánico. Para lograr esta remoción es necesario conservar la velocidad del agua, entre 25 y 38 cm/segundo. La sedimentación gravitacional de las partículas es del tipo discreto (cada partícula se sedimenta independientemente, sin presentarse fenómenos de floculación de partículas). La remoción de partículas de tamaño inferior al tamaño de diseño es directamente proporcional a la relación de su velocidad de sedimentación con la velocidad de sedimentación de diseño.

### **A. Características de las unidades de desarenación.**

Las cámaras de desarenación pueden ser de flujo horizontal con deposición simple por gravedad de las partículas en el fondo del canal, o pueden ser aireadas con flujo en espiral. En ambos casos se recomienda el empleo de rastras mecánicas para la concentración de las arenas sedimentadas. Los desarenadores aireados producen un sedimento más limpio y fácil de manejar que los desarenadores de flujo horizontal.

Otra ventaja de los desarenadores aireados es que, regulando la dosis de aire alimentado, se pueden ajustar las condiciones de operación de la unidad, en función de la proporción de sólidos inorgánicos y orgánicos que contenga el agua residual.

### **B. Criterios de diseño**

El criterio básico de diseño en los desarenadores de flujo horizontal es la velocidad de sedimentación de las partículas y sus requerimientos de área por unidad de gasto, como se muestra en la Cuadro 2.10 para partículas con una densidad de 2.65 g/centímetros cúbicos.

En los desarenadores de flujo horizontal es necesario mantener una velocidad horizontal constante. Para conservar esta velocidad con gastos variables se recomienda el uso de vertedores proporcionales en la descarga. La cresta del vertedor deberá estar de 10 a 30 cm por encima del fondo del canal para evitar el arrastre de sólidos.

En la figura 2.15 se indican la geometría, dimensiones y características de los vertedores proporcionales.

Los criterios de diseño para los desarenadores aireados son los siguientes:

- a) Suministro de aire: 280 L/m de canal
- b) Localización de difusores de aire en un lado del canal a 75 cm del fondo
- c) Velocidad superficial: 45 a 60 cm/s
- d) Velocidad en el fondo: 30 a 45 cm/s
- e) Tiempo de retención hidráulica: 2 a 3 minutos
- d) Remoción de arenas: bandas transportadoras o bombas de aire
- e) Profundidad útil recomendada: 1.2 m

Ecuaciones:

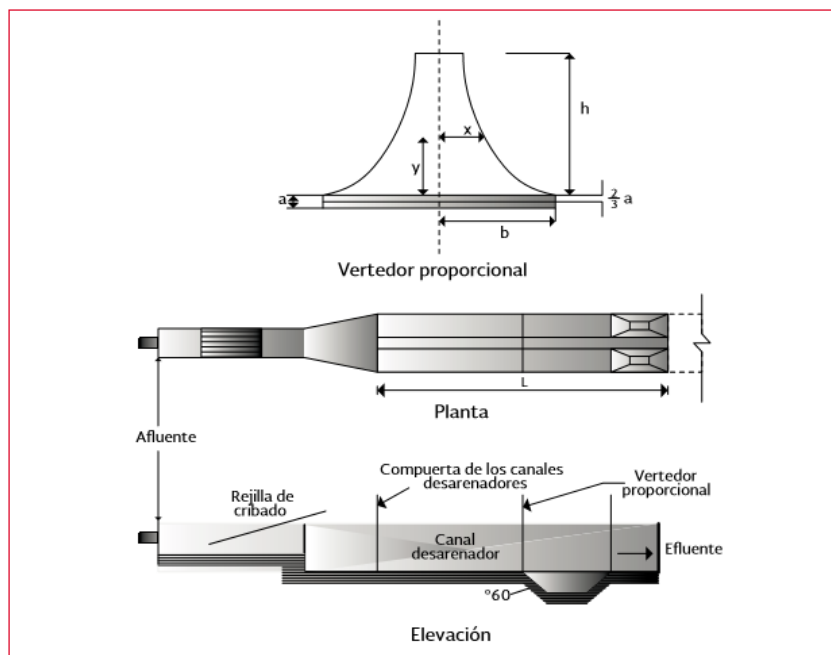
$$x = b \left[ 1 - 28 \arctan \left( \frac{y}{a} \right)^{0.5/11} \right]$$

$$Q = b(2ag)^{0.5} (h + 2a/3)$$

Cuadro 2.10 Criterios de diseño básico.

Tamaño de partícula		Velocidad de sedimentación		Área requerida
Núm. de malla	Tamaño (mm)	cm / s	(L/s)/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /(L/s)
18	0.833	7.47	74.7	0.013
20	0.595	5.34	53.4	0.019
35	0.417	3.76	37.6	0.027
48	0.295	2.64	26.4	0.038
65	0.208	1.88	18.8	0.053
100	0.147	1.32	13.2	0.076
150	0.105	0.92	9.2	0.109

Figura 2.15 Características geométricas y gasto a través de un vertedor proporcional.



Cuadro 2.11 Dimensiones para diseño de un desarenador

a (cm)= 3		3		3		3		3	
b (cm)= 10		20		40		60		80	
y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1	8	1	15.9	1	31.8	1	47.7	2	50.1
2	6.3	2	12.5	2	25	2	37.5	4	32.8
4	4.1	4	8.2	4	16.4	4	24.6	8	18.3
6	3	6	5.9	6	11.8	8	13.7	15	10.1
8	2.3	8	4.6	8	9.1	10	11.1	20	7.6
10	1.9	10	3.7	10	7.4	20	5.7	40	3.8
12	1.6	15	2.5	20	3.8	40	2.9	60	2.5
14	1.3	20	1.9	30	2.5	60	1.9	80	1.9
16	1.2	25	1.5	40	1.9	80	1.4	100	1.5
18	1.1	30	1.3	60	1.3	100	1.1	120	1.3
20	0.9	40	1	80	1	120	1	160	1
1	2	1	5	1	9	1	14	2	25
2	3	2	6	2	12	2	18	4	37
4	5	4	9	4	18	4	28	8	61
6	6	6	12	6	25	8	46	15	104
8	8	8	15	8	31	10	55	20	135
10	9	10	18	10	37	20	101	40	258
12	11	15	26	20	68	40	193	60	381
14	12	20	34	30	98	60	285	80	503
16	14	25	41	40	129	80	377	100	626
18	15	30	49	60	190	100	470	120	749
20	17	40	64	80	252	120	562	160	994

### III. Regulación de caudal.

La regulación de caudal u homogeneización, consiste en el amortiguamiento de las variaciones de caudal para la obtención de un caudal aproximadamente constante. Tiene los siguientes propósitos:

- Reducción o eliminación de problemas operacionales causados por las variaciones de caudal.
- El control adecuado del pH, minimizando los requerimientos posteriores de dosificación en procesos de neutralización.
- Mejoramiento de la eficiencia de los procesos de tratamiento biológico mediante el control las cargas orgánicas pico.
- Descarga de caudales muy variables al alcantarillado municipal.
- La generación de un flujo continuo en plantas de residuos industriales con operación de procesos intermitentes.

La homogeneización tiene las siguientes ventajas:

- Mejoramiento de la tratabilidad del agua residual

- Amortiguamiento de cargas pico sobre el tratamiento biológico
- Dilución de sustancias inhibitoras
- Estabilización de pH
- Mejoramiento de la eficiencia y calidad del efluente
- Uniformización de la carga de sólidos sobre el sedimentador secundario y mejoramiento del espesamiento de lodos
- Reducción de los requerimientos de área y las cargas para tratamiento posterior
- Mejoramiento de la confiabilidad y rendimiento del proceso cuando existe dosificación de los reactivos

Los criterios de localización del igualamiento son los siguientes:

- Preferentemente localizado en el terreno de la planta de tratamiento
- La ubicación óptima depende del tipo de alcantarillado, de las características del agua residual, de las condiciones físicas del sistema de conducción y del tipo de tratamiento
- En algunos casos es más adecuado colocarlo antes del tratamiento biológico
- Si se coloca después del pretratamiento, requiere mezcla para la prevención de la sedimentación de sólidos y suministro de aireación, lo que evita malos olores

Los tanques de regulación requieren generalmente mezcla, lo que asegura un igualamiento adecuado y la prevención de asentamientos de sólidos sedimentables en el tanque. La aireación sirve para la oxidación de compuestos reducidos, reducción de DBO y control de olores; para equipos superficiales de aireación se recomienda un nivel de potencia de 4 a 8 W/m<sup>3</sup>, para equipos de aire difuso, una tasa de 10 a 15 litros de aire por metro cúbico por minuto.

El tanque de igualamiento es de profundidad variable, lo que provee un caudal constante y un efluente igual al afluente, así como con la misma acidez, alcalinidad y pH para la optimización del tratamiento químico o biológico

posterior. Se presenta en la Figura 2.16 e Figura 2.17 un ejemplo de diagrama de flujo de una planta de tratamiento con igualamiento.

Figura 2.16 Diagrama de flujo de una PTAR con igualamiento en línea.

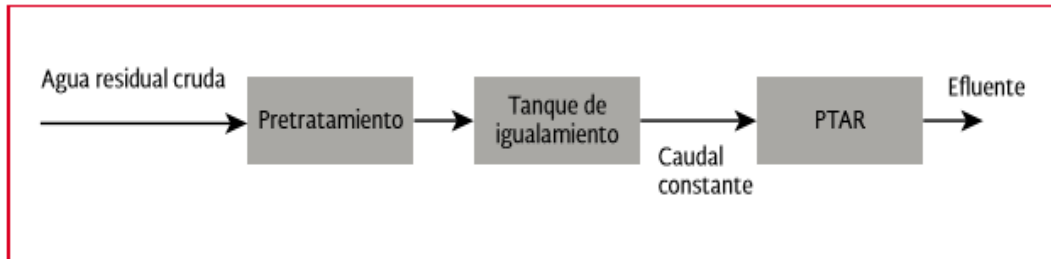
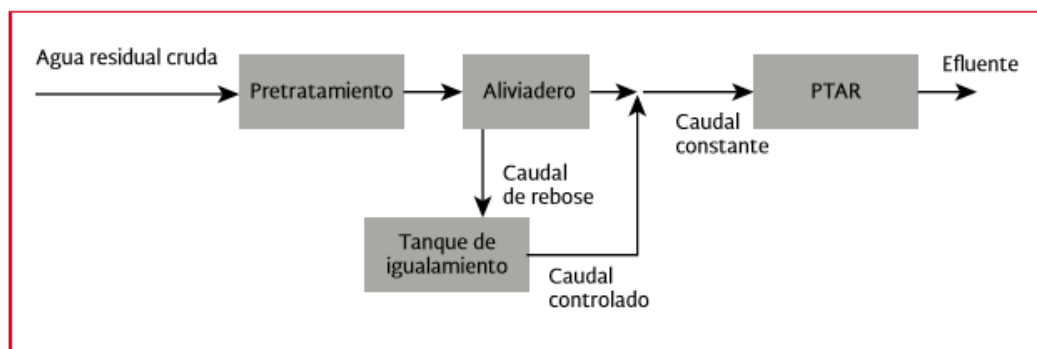


Figura 2.17 Diagrama de flujo de una PTAR con igualamiento en paralelo.



#### IV. Sedimentación.

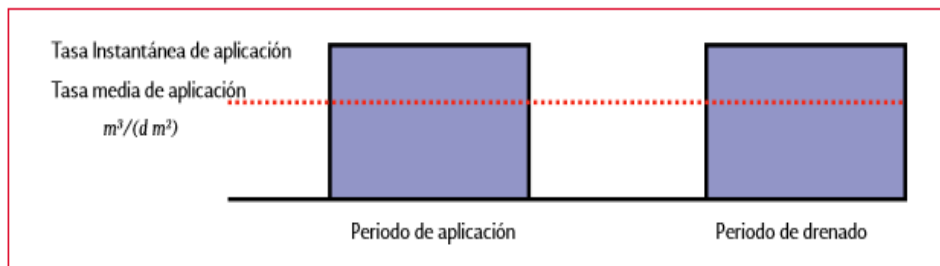
##### A. Infiltración rápida.

En el proceso de infiltración rápida el agua residual se aplica directamente sobre terrenos permeables y profundos, generalmente arenosos o arenolimosos. Lo más común es la aplicación del agua en estanques de infiltración; en algunos casos se ha aplicado por medio de aspersores. En su flujo a través del medio, los contaminantes presentes en el agua son adsorbidos o degradados biológicamente. El agua tratada se recoge por medio de drenes subterráneos conectados a un múltiple cerrado o a canales a cielo abierto. El proceso de infiltración rápida también se emplea sin sistemas de drenado subterráneo, en cuyo caso el agua tratada se infiltra al acuífero. El agua es aplicada a los estanques en forma intermitente. El periodo de aplicación depende de las características del suelo y de la tasa de aplicación, y puede variar de pocas horas a varias semanas. En los periodos en que no se

aplica el agua, se deja drenar el suelo para permitir la entrada de aire al medio. En la Figura 2.18 se muestra el régimen hidráulico de funcionamiento de un estanque de infiltración.

El procedimiento más común para la construcción de estanques consiste en la remoción de la capa de material orgánico, presente generalmente en la superficie de los suelos, y la formación con este mismo material de bordos poco profundos para la construcción de los estanques. Los sistemas de drenaje se pueden construir con tuberías de concreto o de arcilla sin juntar. La capacidad de infiltración del suelo puede verse eventualmente reducida por obstaculización de las capas superiores, en cuyo caso se recomienda arar el suelo y voltear la tierra. Para reducir el taponamiento de los suelos es indispensable el pretratamiento de las aguas residuales, que generalmente se reduce a cribado y desarenación. Sin embargo pueden presentarse casos donde sea aconsejable incluir un tratamiento previo de sedimentación e inclusive tratamiento secundario, en función de la disponibilidad y características del suelo.

Figura 2.18 Régimen de funcionamiento hidráulico.



## **B. Aplicaciones del proceso.**

Con un mayor o menor grado de tecnificación, el proceso de aplicación de aguas residuales al suelo se ha utilizado ampliamente en muchas regiones del mundo, desde hace más de cien años.

Cuando los terrenos disponibles tienen la extensión y características convenientes, la infiltración rápida de aguas residuales sobre el suelo es uno de los procesos más económicos, confiables y eficientes para tratar las aguas residuales.

El efluente producido, generalmente de excelente calidad, puede ser reutilizado en múltiples casos, incluyendo los agrícolas, industriales, municipales y en recarga de acuíferos.

## **C. Remoción esperada del proceso.**

El efluente de un buen sistema de infiltración rápida puede llegar a tener una calidad comparable a la de una fuente de agua potable. Los porcentajes típicos de remoción de contaminantes son los siguientes:

- DBO y sólidos suspendidos totales: 95 a 99 por ciento
- Nitrógeno total Kjeldhal: 25 a 90 por ciento (convertido biológicamente a nitratos y nitritos)
- Fósforo total: 0 a 90 por ciento (dependiendo de la capacidad absorbente del suelo)
- Coliformes fecales: 99.9 a más de 99.99 por ciento.

## **D. Criterios de Diseño.**

Carga hidráulica media: 0.02 a 0.30 m<sup>3</sup>/ (d m<sup>2</sup>), dependiendo de las características del suelo, equivalentes a requerimientos de terreno de 288 a 4 320 m<sup>2</sup> por cada L/s de gasto medio.

Carga orgánica: 2.2 a 11.2 g DBO/ (d m<sup>2</sup>); para aguas residuales de origen municipal. Esta limitación de carga orgánica reduce en la práctica el ámbito de aplicación de carga hidráulica a un rango de 0.02 a 0.08 m<sup>3</sup>/ (d m<sup>2</sup>), equivalentes a requerimientos de área de 1 080 a 4 320 m<sup>2</sup> por cada L/s de gasto medio. En el caso de efluentes secundarios, la restricción de carga



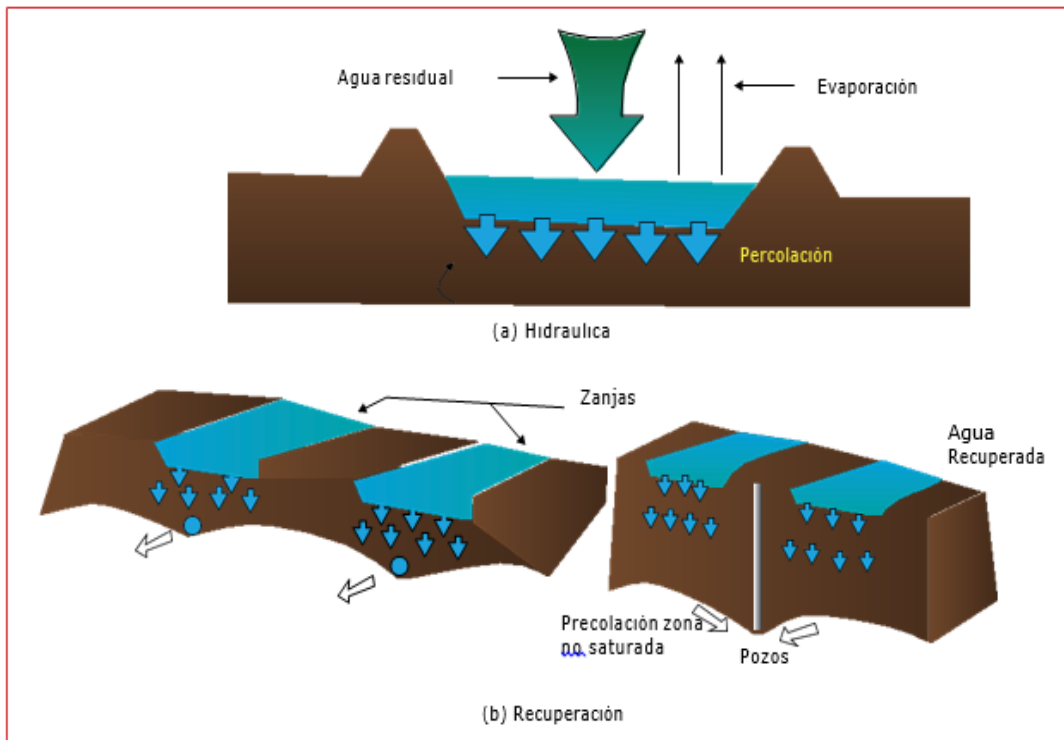
orgánica resulta en requerimientos de terreno de 200 a 400 m<sup>2</sup> por cada L/s de gasto medio.

- Periodos de aplicación de agua: 9 horas a 2 semanas.
- Periodos de drenado: 15 horas a dos semanas.
- Número mínimo de estanques de infiltración: 2
- Altura de bordos: 1.2 m
- Profundidad de drenes subterráneos: 1.8 m o más

En la Cuadro 2.12 se resumen las principales características de este proceso y la calidad esperada del efluente.

Forma de disposición del agua	Superficial por anegamiento del suelo	Unidades
Tasa anual de aplicación	6 a 171	m/año
Requerimientos de área	185 a 5 174	m <sup>2</sup> por L/s
Tasa semanal de aplicación	10 a 305	cm/semana
Pretratamientos mínimos recomendados	Sedimentación primaria	
Destino final del agua tratada	Recuperación con drenes o percolación al acuífero	
Necesidades de cubierta vegetal	Opcional	
Pendiente del suelo	No crítica, pendientes muy grandes requieren más movimiento de tierras para construcción de bordos.	
Permeabilidad del suelo	Alta (arenas o limos arenosos)	
Profundidad del manto freático	Mínima: 3m, menores profundidades son aceptables si se cuenta con drenes subterráneos	
Calidad del efluente:	Percolación de efluente primario o secundario a través de 4.5 m de suelo.	
DBO	Promedio:2 Máxima: 5	mg/L
LSST	Promedio:2 Máxima: 5	mg/L
N-NH <sub>3</sub>	Promedio:0.5 Máxima: 2	mg/L
NTK	Promedio:10 Máxima: 20	mg/L
P	Promedio:1	mg/L

Figura 2.19 Esquema de infiltración rápida



## V. Infiltración lenta.

En el proceso de infiltración lenta el agua se aplica sobre suelos con cultivos vegetales y con permeabilidad de baja a moderada, generalmente suelos limosos o limo-arenosos. El procedimiento más común de aplicación del agua es por aspersión y, ocasionalmente, por escurrimiento superficial. El método de aplicación más eficiente es el de aspersión porque da como resultado una distribución más uniforme del agua en el suelo, independientemente de la topografía del terreno.

El agua tratada puede ser recolectada con drenes subterráneos, captada en un canal o canaleta, o percolarse al subsuelo. En la superficie del suelo se propicia el crecimiento de una cubierta vegetal que ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento. Los procesos que contribuyen al tratamiento del agua son:

- Filtración simple a través del medio
- Precipitación química

- Adsorción química
- Intercambio iónico
- Oxidación biológica
- Absorción de nutrientes por la vegetación

Algunos de los factores que deben ser considerados en la selección de los cultivos que se siembren en el terreno son los siguientes:

- Adaptabilidad del cultivo a las condiciones de clima y suelos
- Uso consuntivo del agua y tolerancia de los cultivos a la presencia de contaminantes
- Absorción de nutrientes por las plantas
- Valor económico del cultivo
- Regulaciones de salud pública
- Duración de la temporada de crecimiento del cultivo

Los pretratamientos más comunes del agua son cribados, desarenación y sedimentación primaria. El control de patógenos en el agua puede ser también necesario dependiendo de los cultivos irrigados y de las prácticas seguidas en las operaciones de riego y cosecha.

#### **A. Aplicaciones del proceso**

El proceso de infiltración lenta es, de todos los métodos de aplicación de agua al suelo, el que produce el efluente de mejor calidad. Otras ventajas del método son la recuperación económica en forma de cultivos, el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el agua y, si se cuenta con drenes subterráneos, la recuperación y posible reúso del agua.

#### **B. Remoción esperada del proceso**

La calidad del efluente es, generalmente, excelente y prácticamente independiente de la calidad del agua cruda. Eficiencias típicas de remoción de contaminantes son las siguientes:

- DBO y sólidos suspendidos totales: 90 a más de 99 por ciento
- Nitrógeno total Kjeldahl: 50 a 95 por ciento (convertido biológicamente a nitratos y nitritos)

- Fósforo total: 80 a 99 por ciento (dependiendo de la capacidad de adsorción del suelo)
- Coliformes fecales: más de 99.99 por ciento

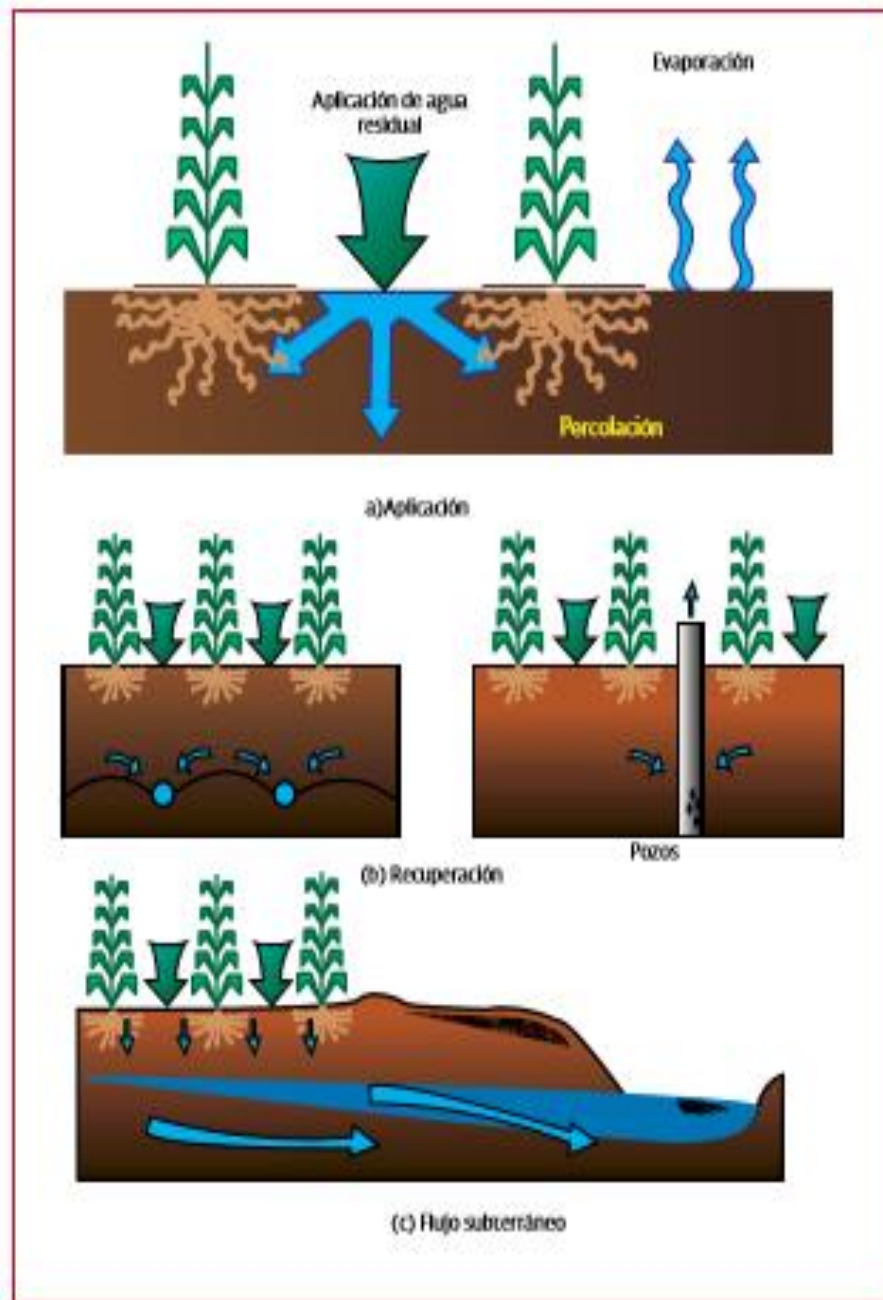
Cuadro 2.13 Características del proceso y calidad del efluente

Forma de disposición del agua	1. Aspersores		Unidades
	2. Superficial: canales abiertos con compuertas, o tuberías con orificios o válvulas		
Tasa anual de aplicación	0.6 a 6.1		m/año
Requerimientos de área	5 174 a 51 742		m <sup>2</sup> por L/s
Tasa semanal de aplicación	1.27 a 10.16		cm/s
Pretratamientos mínimos recomendados	Cribado Sedimentación primaria		
Destino final del agua tratada	Evapotranspiración y recuperación con drenes o percolación al acuífero		
Necesidades de cubierta vegetal	Necesaria		
Pendiente del suelo	Menos de 2% en terrenos cultivados Menos de 4% en terrenos no cultivados		
Permeabilidad del suelo	Media		
Profundidad del manto freático	Mínima: 0.6 a 1.0		m
Calidad del efluente	Percolación de efluente primario o secundario a través de 1.5m de suelo.		
DBO	Promedio:2	Máxima: 5	mg/L
SST	Promedio:1	Máxima: 5	mg/L
N-NH <sub>3</sub>	Promedio:0.5	Máxima: 2	mg/L
NTK	Promedio:3	Máxima: 8	mg/L
P	Promedio:0.1	Máxima: 0.3	mg/L

### C. Criterios de diseño

- Carga hidráulica: 0.6 a 6 m/año equivalentes a requerimientos de terreno de 5 000 a 50 000m<sup>2</sup> por L/s de gasto medio
- Carga orgánica: 0.02 a 0.56 g de DBO por m<sup>2</sup> por día. Para un afluyente con 50 mg/L de DBO, esta limitación de carga orgánica representa un ámbito de requerimientos de terreno de 7 500 a 190 000 m<sup>2</sup> por cada L/s de gasto medio
- Permeabilidad del suelo: 0.15 a 5 cm/h

Figura 2.20 Infiltración lenta.



### **2.6.2.3. Biomasa Fija.**

El crecimiento continuo de la población, las actividades económicas, así como las condiciones socioterritoriales, traen como consecuencia el aumento en las cargas contaminantes de las aguas residuales municipales. En este sentido, las operaciones unitarias de separación física no son suficientes para alcanzar la calidad de agua requerida para los diferentes usos de dichos cuerpos, debido predominantemente a los contaminantes solubles, los cuales son removidos mediante procesos bioquímicos.

La estabilización de la materia orgánica mediante procesos bioquímicos consiste en su conversión en productos finales estables como dióxido de carbono o nitrógeno. Mediante estos procesos, también se logra la formación de consorcios microbianos que son removidos mediante una operación física posterior. Con esta separación sólido líquido, se consigue la concentración y reducción de los contaminantes a volúmenes que son manejables para un tratamiento y/o disposición adecuada.

Los procesos bioquímicos de tratamiento se clasifican desde tres perspectivas: la primera: transformación bioquímica (remoción de materia orgánica soluble; estabilización de materia orgánica insoluble y conversión de materia inorgánica insoluble); la segunda: ambiente bioquímico, relacionado con los aceptores de electrones (aerobio, anóxico y anaerobio); y la tercera: configuración del reactor, concerniente a la forma en que los microorganismos crecen en el sistema (suspendidos en el líquido sometido a tratamiento o adheridos a un soporte sólido).

En los reactores de crecimiento adherido o biomasa fija, los microorganismos crecen formando una biopelícula sobre un soporte sólido ya sea natural o sintético. Esto significa que los donadores y aceptores de electrones así como todos los nutrientes, llegan hasta los microorganismos contenidos en la biopelícula por difusión u otros procesos de transporte de masa. Los tres principales reactores de este tipo son los filtros rociadores, discos biológicos rotatorios y los reactores de lecho fluidizado. En este manual se discuten los dos primeros procesos y se consideran únicamente soportes de tipo impermeable.

## **I. Filtro rociador.**

En el proceso de filtración biológica, el agua residual se deja escurrir sobre un filtro empacado con piedra o con algún medio sintético. En la superficie del medio se desarrollan crecimientos que oxidan biológicamente los contaminantes orgánicos presentes en el agua. El efluente es colectado al fondo del filtro.

El oxígeno necesario para la buena operación del proceso se obtiene del aire presente en los intersticios del medio. El flujo natural de aire, debido a los gradientes de temperatura que se presentan en el interior del filtro, es normalmente suficiente al suministrar el oxígeno necesario en este proceso. Para permitir este flujo de aire, es necesario dejar ventilas de tamaño adecuado en la parte inferior de los filtros. En algunos casos, cuando las torres de los filtros son muy altas, o la concentración de DBO en el afluente muy grande, puede ser necesario la inducción del flujo de aire por medio de ventiladores o sopladores instalados en las ventilas.

El proceso de filtración biológica va precedido, generalmente, de una sedimentación primaria para remover los sólidos en suspensión que pueden obturar el filtro. Ya que la biomasa responsable del proceso de oxidación biológica está adherida al medio de empaque, y no en suspensión como en el caso del proceso de lodos activados, la biomasa no es arrastrada en el efluente, y por lo tanto no es necesaria la recirculación de lodos biológicos. Sin embargo, el exceso de lodos sí es arrastrado en el efluente, razón por la cual es común la instalación de sedimentadores secundarios para la colección del exceso de lodo.

La cantidad de lodos generados en exceso es función de la DBO removida y de la densidad de carga orgánica sobre el filtro (a menor densidad de carga, menor generación de exceso de lodos). El arrastre del exceso de lodos puede ser intermitente, en forma de purgas periódicas, o en forma continua a una tasa constante, dependiendo, principalmente, de las condiciones de carga hidráulica y características físicas del medio de empaque. La profundidad de los filtros rociadores varía en un ámbito muy grande, dependiendo principalmente del tipo de medio de empaque empleado.

Para filtros empacados con piedra, las profundidades normales son de 1.5 a 3 metros. En los filtros empacados con medios sintéticos las profundidades pueden variar de 1.5 a 10 metros. En términos generales, la eficiencia de un filtro aumenta en forma proporcional (no lineal) con su profundidad, pero los costos de bombeo aumentan también al incrementarse la altura del filtro. El ingeniero proyectista debe ponderar ambos factores en la selección de la dimensiones de un filtro biológico. El agua es alimentada en la parte superior del filtro por medio de brazos giratorios. Los brazos distribuidores son alimentados por el centro, y giran gracias a la misma fuerza del agua. Los brazos son provistos de orificios y difusores para la distribución uniforme del agua en el medio. Los distribuidores rotatorios se fabrican para tanques con diámetros de 6 a 60 metros.

#### A. Características del proceso

El proceso de filtros rociadores puede ser clasificado en las siguientes categorías:

- Filtros empacados con roca: baja, media y alta tasa
- Filtros empacados con medio sintético: alta, muy alta y desbaste.

En la Cuadro 2.14 se presentan las características típicas de estos tipos de filtros.

Medio de Empaque	Tamaño	Densidad aparente	Área específica	Vacíos
	mm	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	%
<b>Roca</b>				
Pequeña	25-65	1 250-1 450	55-70	40-50
Mediana	100-120	800-1 000	40-50	50-60
<b>Plástico</b>				
Convencional		30-100	80-100	94-97
Alta densidad		30-100	100-120	94-97



## II. Discos Biológicos.

Los discos biológicos están formados por discos de plástico o de algún otro material, sujetos y soportados por una flecha horizontal rotatoria. En la actualidad estos sistemas usan discos, o secciones de discos, de plástico de alta densidad de 1 a 1.5 mm de espesor.

El sistema tiene aplicaciones en tratamiento secundario y nitrificación. En estas aplicaciones los discos se posicionan dentro de los tanques, de tal forma que quede el 40 por ciento sumergido. Los discos rotan lentamente (de 1 a 2 r/min, pero generalmente de 1.4 a 1.6 r/min) mientras están en contacto con el agua residual y la atmósfera al mismo tiempo.

Los microorganismos presentes naturalmente en el agua residual se adhieren al medio formando una capa delgada en todo el disco. La población biológica en el medio se acumula y se alimenta de los organismos que habitan en el agua residual. La turbulencia causada por la rotación de los discos mantiene la biomasa en suspensión. Los sólidos suspendidos son transportados con el agua residual a un sedimentador secundario.

Los sistemas de discos biológicos son clasificados por la densidad del medio, el tipo de transmisión, aplicación, arreglo y modo de operación. Actualmente el medio se clasifica de la siguiente manera:

- De baja densidad, usado en el primer paso de remoción de DBO
- De densidad media, se usa en donde se disminuye la remoción de DBO y comienza la nitrificación
- De densidad alta, usado para la nitrificación.

El área superficial varía de proveedor a proveedor, pero en medios de densidad baja suele ser de 9 300 m<sup>2</sup> para diámetros de 3.7 m y flechas de 7.6 m de largo. En los medios de densidad media el área es de 11 600 m<sup>2</sup>, y en medios de densidad alta el área es de 14 000 centímetros cuadrados.

El sistema deberá contar con recirculación para periodos de flujos o cargas bajas. El sistema puede constar de uno o varios pasos, dependiendo de los objetivos de tratamiento.

## A. Criterios de diseño.

En la Cuadro 2.15 se presentan los criterios de diseño.

Parámetro	Valor	Unidades
Carga orgánica: sin nitrificación	480 – 9610	(g DBO/d m <sup>3</sup> ) de medio
Carga orgánica: con nitrificación	240 – 320	(g DBO/d m <sup>3</sup> ) de medio
Carga hidráulica: sin nitrificación	30.6 – 61.1	(L/d m <sup>2</sup> ) de área superficial
Carga hidráulica: con nitrificación	12.2 – 24.4	(L/d m <sup>2</sup> ) de área superficial
Tiempo de retención sin nitrificación (min)	40 – 120	min
Tiempo de retención con nitrificación (min)	90 – 250	min
Volumen del tanque	4.89	(L/m <sup>2</sup> ) de área de disco
Número de trenes en paralelo recomendado	66 – 82	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Área superficial del medio: disco	98 – 131	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Celosía estándar	164 – 197	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Celosía de alta densidad		
Número de pasos por tren:		
DBO sol. deseable en el efluente	Número de pasos mínimo recomendado	
>25	1	
15 – 25	1 o 2	
10 – 15	2 o 3	
<10	3 o 4	

## B. Remoción esperada del proceso

En la Cuadro 2.16 se explica el porcentaje de remoción en un sistema de discos biológicos con sedimentación secundaria y precedida de sedimentación primaria.

Parámetro	% de Remoción
DBO	80 – 90
Sólidos Suspendedos	80 – 90
Fósforo	10 – 30
N-NH <sub>4</sub>	Hasta 95

*El porcentaje de remoción de N-NH<sub>4</sub> depende de la temperatura, alcalinidad, carga orgánica, y la carga de nitrógeno no oxidado*

## C. Otras características

### Impacto ambiental

Un impacto negativo al medio ambiente no ha sido documentado hasta la fecha. Sin embargo, pueden existir problemas de olores si se desarrollan condiciones sépticas en el primer paso del sistema.

### Confiable del proceso

Moderadamente confiable en ausencia de cargas orgánicas altas y temperaturas menores a 13 ° Celsius.

La confiabilidad mecánica del sistema es generalmente alta, siempre y cuando el primer paso del sistema haya sido diseñado para soportar una biomasa grande.

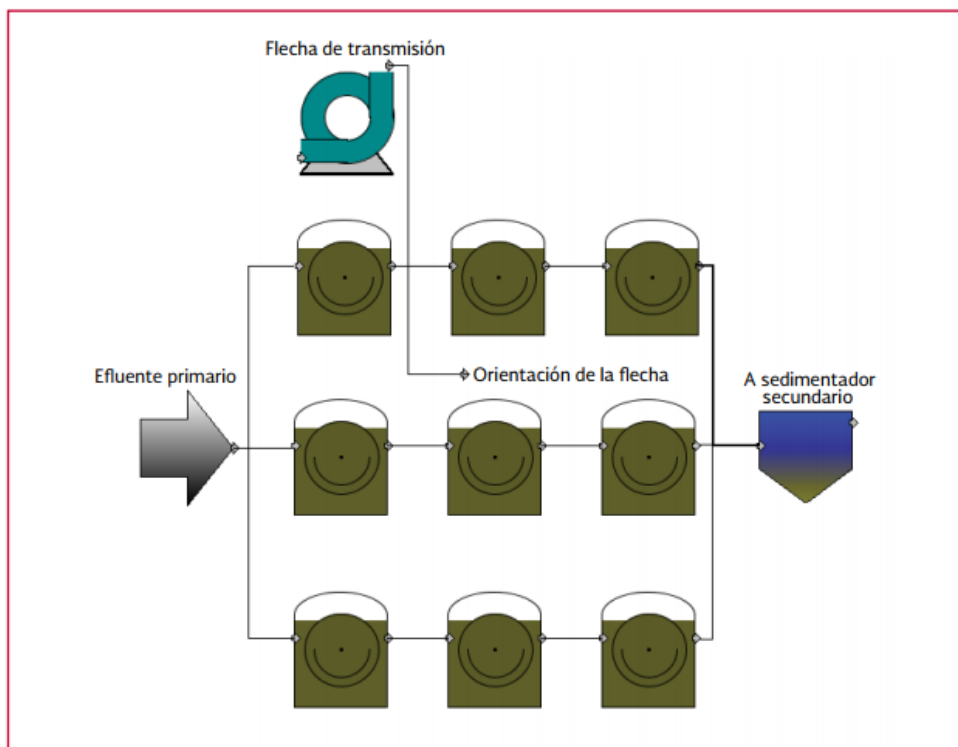
### Limitaciones

El proceso puede ser vulnerable a cambios climatológicos y a temperaturas bajas si el sistema no está bajo techo o cubierto. La eficiencia del sistema puede disminuir significativamente a temperaturas menores a 13 °C. Asimismo, se puede requerir aireación si se desarrollan condiciones sépticas en el primer paso. El uso de medios densos en los primeros pasos puede causar taponamiento. La nitrificación puede causar un déficit en alcalinidad, y se requerirá de una fuente para cubrir dicho déficit.

#### D. Configuración típica de discos biológicos por etapas

En la Figura 2.21 se presenta la configuración típica de discos biológicos en etapas como un diagrama de flujo. Otra probable orientación de la flecha es paralela a la dirección del flujo con una flecha común para todos los pasos en un solo tren.

Figura 2.21 Diagrama de flujo



#### **2.6.2.4. Biomasa Suspendida.**

Los procesos de biomasa suspendida se caracterizan porque los organismos encargados de la transformación bioquímica de la materia se encuentran dispersos (debido a fuerzas que generan turbulencia y mezcla) en el medio sometido a tratamiento. Los ejemplos más comunes de tratamiento de agua residual con biomasa suspendida son el de lodos activados; lagunas aireadas; reactor anaerobio de mezcla completa; contacto anaerobio y reactor secuencial anaerobio. En el caso de los lodos activados la incorporación de aire también permite la generación de turbulencia lo que mejora la transferencia de masa y en consecuencia la eficiencia del proceso biológico. Los microorganismos se mantienen con aireación y suspendidos en el reactor, en el cual ocurre la transformación de materia. A continuación, los microorganismos se separan en un sedimentador y una parte de ellos se recircula al reactor para el mantenimiento de una concentración constante de biomasa.

En esta clase de proceso, la formación de sólidos fácilmente sedimentables (flóculos) permite la desincorporación del tiempo de retención hidráulico del tiempo de retención celular su remoción por gravedad. No obstante, la biomasa anaerobia suspendida no presenta condiciones adecuadas para la sedimentación, por lo que ocasionalmente el licor mezcla del reactor se somete a un proceso de filtración con membranas con tamaños de poro desde 0.04 hasta 0.4  $\mu\text{m}$  para el logro de los objetivos de tratamiento. Esto elimina la necesidad de un sedimentador secundario y genera un proceso más compacto y de mayor confiabilidad, aunque de mayor costo.

##### **I. Lodos activados**

El proceso de lodos activados tiene como objetivo remover la materia orgánica, en términos de DBO, de las aguas residuales. La remoción de DBO se logra por la conversión biológica, en presencia de oxígeno molecular, por microorganismos, de la DBO en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y en nuevas células de microorganismos. Los microorganismos formados se separan por sedimentación gravimétrica, una parte es reciclada como siembra para la continuación del proceso, y el resto se remueve.

La combinación de microorganismos y agua residual se conoce como lodo activado. Los lodos en el reactor biológico están sujetos a un proceso de autooxidación, conocido como respiración endógena, proceso que también consume oxígeno.

El oxígeno requerido para el funcionamiento del proceso se suministra por medio de aireadores mecánicos o difusores. Los aireadores mecánicos pueden ser con turbina sumergida o superficial de alta o de baja velocidad.

#### **A. Remoción esperada del proceso**

Básicamente la remoción de la materia orgánica en las aguas residuales es producida por dos procesos:

- Mineralización (gasificación): por acción de las bacterias heterotróficas y por la biosíntesis o crecimiento de las bacterias.
- La síntesis biológica: se manifiesta como la adsorción de las sustancias procedentes del agua residual metabolizadas y manifestadas como nuevos microorganismos.

#### **B. Descripción de algunas variaciones del proceso de lodos activados.**

- Estabilización por contacto: en este sistema el agua residual y el lodo activado son mezclados brevemente (20-30 minutos), tiempo necesario para que los microorganismos adsorban los contaminantes orgánicos en solución, pero no el necesario para que asimilen la materia orgánica. El licor mezclado es sedimentado y derivado a otro tanque de aireación por un periodo de 2 a 3 horas para luego ser mezclado con el efluente que ingresa al primer tanque de aireación.
- Aireación por etapas: esta modificación consiste en que el flujo de agua residual es introducido al tanque aireador por varios puntos. En los puntos de alimentación se esparce la demanda de oxígeno en el aireador, lo que resulta en una mayor eficiencia de uso del oxígeno.
- Aireación extendida: su diagrama de flujo es esencialmente el mismo que un sistema de mezcla completa, excepto que no tiene

sedimentador primario. El tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este periodo de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador, lo que permite su disposición sin que sea necesaria una gran capacidad de estabilización. Una variación del sistema de aireación ex- tendida es la llamada zanja de oxidación

- Remoción de DBO: 85 a 95 por ciento
- Remoción de N-NH<sub>3</sub>: 10 a 20 por ciento.

### C. Generación de lodos

La generación de lodos biológicos depende de las características del sustrato, la relación A/M y la edad de lodos. Para las condiciones típicas de una planta convencional de aguas residuales municipales, la generación media de lodos. Cuadro 2.17 Generación de lodos:

A/M kg DBO/(kg SSV d)	Generación de lodos kg de lodos/(kg DBO removida)
0.3	0.5
0.5	0.7

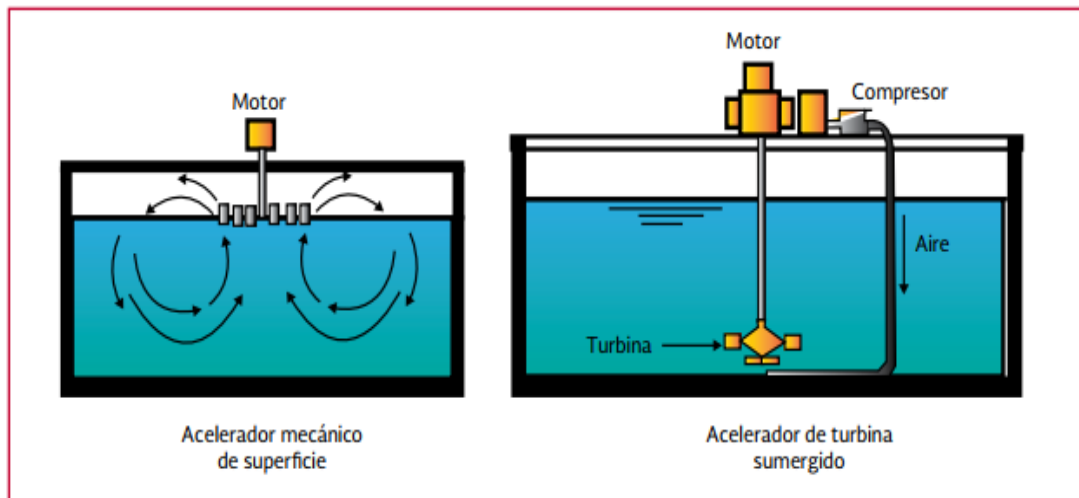
### D. Criterios de diseño.

En la Cuadro 2.18 se presentan los criterios típicos de diseño para una planta convencional de lodos activados para aguas residuales de origen predominantemente municipal.

Cuadro 2.18 Criterios típicos de diseño para una planta convencional de lodos activados.

Parámetro	Convencional	Unidades
Carga orgánica volumétrica	0.40 a 0.80	kg DBO/d m <sup>3</sup>
Tiempo de aireación (basado en gasto medio a través del proceso)	4 a 8	h
Sólidos suspendidos totales en el reactor (SST)	1 500 a 3 000	mg/L
Relación A/M	0.25 a .50	kg DBO/kg SSV d
Requerimientos de aire	54 a 102	m <sup>3</sup> /kg DBO removida
Edad de lodos	5 a 10	d

Figura 2.22 Reactor de lodos activados



## II. Zanjas de oxidación.

Una zanja de oxidación es un proceso de tratamiento biológico de lodos activados, comúnmente operado como un proceso de aireación extendida. La unidad consiste de un canal en forma de circuito cerrado, de 0.9 a 1.8 m de profundidad, con paredes de 45° de pendiente y aireadores mecánicos, localizados en uno o varios puntos a lo ancho de la zanja. El efluente de un pretratamiento, comúnmente cribado, trituración o desarenación, entra a la zanja, es aireado por cepillos horizontales, o aireadores tipo disco diseñados especialmente para zanjas de oxidación y circula a lo largo del canal a una velocidad de aproximadamente 0.3 a 0.6 m/segundo. Los aireadores crean una mezcla y provocan la circulación del agua en la zanja, así como una transferencia de oxígeno suficiente.

La mezcla en el canal es uniforme, pero pueden existir zonas de baja concentración de oxígeno disuelto. Los aireadores operan en un ámbito de 60 a 110 r/min, y proporcionan velocidad suficiente para mantener los sólidos en suspensión. En este proceso puede ocurrir un alto grado de nitrificación, sin ninguna modificación del sistema en especial debido a los largos tiempos de retención de los sólidos utilizados (10 a 50 días). El efluente de las zanjas de oxidación alimenta a los sedimentadores secundarios. El proceso de zanjas de oxidación se aplica a cualquier situación donde sea apropiado un tratamiento de lodos activados (convencional o aireación extendida).

El costo del proceso de tratamiento es generalmente menor a otros procesos biológicos para un ámbito de flujos entre 0.38 a 38 mL/día.

### A. Criterios de diseño

En la Cuadro 2.19 se presentan los criterios de diseño de las zanjas de oxidación para su forma de aireación extendida.

Concepto	Dimensión	Unidades
Carga de DBO	134 a 240	kg/(1 000 m <sup>3</sup> volumen de aireación d)
Edad de lodos	10 a 33	d
Profundidad del canal	0.9 a 1.8	m
Geometría del canal	Paredes verticales o de 45°	
Tiempo de retención en el canal de aireación	1	d

### B. Remoción esperada del proceso

De la manera mostrada en la Cuadro 2.20 se pueden resumir las eficiencias del proceso.

Parámetro	Efluente (mg/l)			% de remoción		
	Invierno	Verano	Promedio anual	Invierno	Verano	Promedio anual
DBO	15.2	1.2	12.3	92	94	93
Sólidos suspendidos	13.6	9.3	10.5	93	94	94

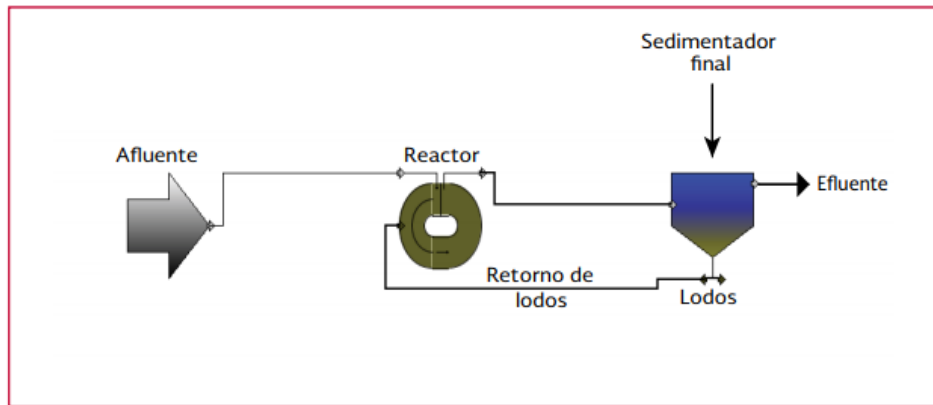
Se ha obtenido una remoción de nitrógeno amoniacal de 40 a 80 %.

La confiabilidad promedio en plantas de tratamiento con zanjas de oxidación se puede resumir según se ha reportado en los estudios de evaluación (Cuadro 2.21).

El consumo de energía en zanjas de oxidación se puede estimar en base al flujo de agua, requerimiento de oxígeno por DBO removida y eficiencia de transferencia de oxígeno. Para fines de estimación se puede suponer una eficiencia de transferencia de oxígeno de 1.8 Lb O<sub>2</sub>/HP h y un requerimiento de oxígeno de 1.5 Lb por 0.2 Lb DBO removida.



Figura 2.23 Esquema de zanja de oxidación



Cuadro 2.21 Confiabilidad promedio en plantas de tratamiento con zanjas de oxidación

Concentración en el efluente	Frecuencia reportada en %	
	SST	DBO
< 10 mg/L	65	65
< 20 mg/L	85	90
< 30 mg/L	94	96

### III. Reactores biológicos secuenciales.

El tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas e industriales es una opción que viene tomando importancia en zonas de recursos hídricos escasos, y que obliga a la mejora de las tecnologías de tratamiento. Las aguas residuales industriales tienen, entre sus características habituales, la presencia de contaminantes orgánicos resistentes a la degradación por vía química, y tóxicos para el desarrollo de la actividad de los microorganismos en tratamientos biológicos convencionales. Este es el caso de contaminantes tales como compuestos aromáticos (fenoles y clorofenoles), plaguicidas clorados (PCB), arilos, alquilsulfonatos (detergentes) e hidrocarburos lineales. Algunas tecnologías denominadas avanzadas se han dirigido a la utilización de procesos de oxidación química, que permiten la mineralización de estos contaminantes a dióxido de carbono y agua, o su transformación en otros productos de menor toxicidad que resulten más fácilmente biodegradables.

Entre los sistemas de tratamiento biológico, los reactores secuenciales de flujo discontinuo (SBR, por sus siglas en inglés), son cada vez más utilizados en el tratamiento de aguas residuales industriales. Un reactor discontinuo secuencial es un sistema de crecimiento suspendido en el que el agua residual se mezcla con un lodo biológico existente en un medio aireado. Es el único proceso biológico en el que se combina en un mismo tanque el proceso de reacción, aireación y clarificación. El sistema SBR consta de, al menos, cuatro procesos cíclicos: llenado, reacción, decantación y vaciado, tanto de efluente como de lodos. En la primera fase, llamada llenado estático, se introduce el agua residual al sistema bajo condiciones estáticas. El llenado puede ser dinámico si se produce durante el período de reacción. Durante la segunda fase del ciclo, el agua residual es mezclada mecánicamente para eliminar las posibles espumas superficiales y preparar a los microorganismos para recibir oxígeno. En esta segunda etapa (reacción) se inyecta aire al sistema. La etapa de reacción es un proceso cuyos resultados varían con su duración, y en la que el agua residual es continuamente mezclada y aireada, permitiendo que se produzca el proceso de degradación biológica. El tercer ciclo, llamado etapa de decantación, genera condiciones de reposo en todo el tanque para que los lodos puedan decantar. Durante la última fase, o fase de vaciado, el agua tratada es retirada del tanque mediante un sistema de eliminación de sobrenadante superficial. Finalmente, se puede purgar el lodo generado para mantener constante su concentración.

El proceso combina, en un mismo tanque, reacción, aireación y clarificación. El empleo de un único tanque reduce sustancialmente la inversión necesaria. Otras ventajas de los SBR son la facilidad para el control de la operación, la flexibilidad ante fluctuaciones de caudal, la concentración de las aguas residuales y que permiten obtener buenos resultados en el tratamiento de compuestos refractarios con respecto de los sistemas biológicos convencionales.

#### **A. Fases del proceso.**

Sistema de tratamiento de lodos activados que es operado en fases de llenado y vaciado. Dado que los sistemas SBR usan el mismo embalse para estabilización biológica y sedimentación de sólidos, eliminan la necesidad de tener un tanque de sedimentación secundaria.

Su funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en compartimientos separados, mientras que en los SBR, los procesos ocurren secuencialmente en el mismo tanque. Tal como se emplean hoy en día, todos los sistemas SBR tienen en común cinco etapas, que ocurren en forma secuencial:

1. Llenado
2. Reacción (aireación)
3. Sedimentación (clarificación)
4. Extracción (vaciado por decantación)
5. Fase inactiva

#### **B. Llenado**

El objetivo de esta fase es la adición de sustrato (agua residual bruta o afluente primario) al reactor que permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25 por ciento (al final de la fase inactiva), hasta el 100 por ciento de su capacidad. Este proceso suele ocupar aproximadamente el 25 por ciento de la duración total del ciclo.

#### **C. Reacción.**

El propósito de esta fase es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. Suele ocupar el 35 por ciento de la duración total del ciclo.

#### **D. Sedimentación**

El objetivo es separar los sólidos para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. Este proceso suele ser mucho más eficiente que en un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está completamente en reposo.

### **E. Extracción**

El propósito de la fase de vaciado es la extracción del agua clarificada del reactor. Actualmente se emplean muchos métodos de decantación; los más empleados son los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo que se dedica al vaciado del reactor puede variar entre el 20 por ciento y el 50 por ciento de la duración total del ciclo (entre 15 minutos y 2 horas); 45 minutos es la duración típica.

### **F. Fase inactiva**

El objetivo de la fase inactiva en un sistema de múltiples tanques es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar otra unidad. Puesto que no es una fase necesaria, en algunos casos se omite.

La purga de lodo suele tener lugar durante la fase de sedimentación o la fase inactiva, aunque puede llevarse a cabo durante cualquier fase, dependiendo del modo de operación. La purga del lodo es otro paso importante en el funcionamiento de los SBR que afecta de manera importante su rendimiento. No se incluye como una de las cinco etapas básicas del proceso porque no existe un momento determinado dedicado a la eliminación del lodo dentro del ciclo de funcionamiento. La cantidad de lodo que hay que purgar y la frecuencia con que se debe efectuar la purga se determinan según las necesidades dictadas por los rendimientos, como ocurre con el sistema de flujo continuo convencional. En el funcionamiento de los SBR, la purga del lodo suele realizarse en la fase de sedimentación o en la de inactividad. Una característica única de los SBR es que no es necesario disponer de un retorno de lodos activados. Debido a que tanto la aireación como la decantación tienen lugar en el mismo estanque, no se pierde cantidad de lodo alguna.

### **G. Criterios de diseño**

Para el diseño de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales el primer paso es determinar las características anticipadas del agua residual y los requerimientos para el efluente del sistema propuesto. Los parámetros del afluente incluyen típicamente el caudal de diseño, el caudal diario máximo, el DBO, los SST (sólidos suspendidos totales), el pH, la alcalinidad, el

nitrógeno total Kjeldahl (cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, NTK), el nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) y el fósforo total. Pueden requerirse también otros parámetros para aguas residuales industriales y domésticas.

Se debe contactar a la agencia reguladora estatal para determinar los requerimientos para el efluente de la planta propuesta. Estos parámetros de descarga están especificados como límites máximos permisibles en las Normas Oficiales Mexicanas, tanto para lodos o descargas de plantas de tratamiento de agua residual. Los parámetros que normalmente se incluyen en los permisos para sistemas municipales son el caudal, la DBO, los SST y las bacterias coliformes fecales. Además, muchos estados están adoptando la remoción de nutrientes, por lo cual también pueden requerirse el nitrógeno total, el NTK, el  $\text{N-NH}_3$  y el fósforo total. Es imprescindible establecer los requerimientos del efluente porque estos impactan la secuencia de operación de los sistemas SBR. Por ejemplo, si se tiene un requerimiento de  $\text{N-NH}_3$  o NTK, entonces es necesario tener nitrificación. Si se tiene un límite de nitrógeno total, tanto nitrificación como desnitrificación serán necesarias.

Una vez que se determinan las características del afluente y el efluente, el ingeniero normalmente consulta con fabricantes de SBR en cuanto a las recomendaciones de diseño. Con base en estos parámetros y otros específicos para el sitio de tratamiento, tales como la temperatura, se seleccionan los que sean claves en el diseño del sistema.

Un ejemplo de los parámetros para la carga de un sistema de aguas residuales se señala en la Cuadro 2.22. Una vez que se determinan los parámetros clave de diseño, se puede calcular el número de ciclos por día, el número de tanques, el volumen de decantación, el tamaño del reactor y los tiempos de retención. Además, se puede dimensionar el equipo de aireación, el decantador y las tuberías asociadas. Otra información específica del sitio es necesaria para seleccionar el tamaño de los equipos de aireación, tal como la elevación del terreno sobre el nivel del mar, la temperatura del agua residual y la concentración total de sólidos disueltos.

Cuadro 2.22 Parámetros clave de diseño para tasas de carga convencionales

	Industrial	Municipal
Relación A/M	0.15 - 0.4 d <sup>-1</sup>	0.15 - 0.6 d <sup>-1</sup>
Duración del ciclo de tratamiento	4.0 horas	4.0 - 24 horas
Concentración típica de sólidos suspendidos en el licor mezclado a nivel bajo de agua	2 000 - 2 500 mg/L	2 000 - 4 000 mg/L
Tiempo hidráulico de retención	6 - 14 horas	varía

## H. Operación y mantenimiento

La operación de un reactor SBR se basa en el principio de llenado-descarga, que consiste en los siguientes 5 pasos básicos: llenado, reacción, sedimentación, extracción y fase inactiva (anteriormente descritas). Más de una estrategia operacional es factible durante la mayoría de esos pasos. Para aplicaciones de aguas residuales industriales normalmente se requieren estudios de tratabilidad para determinar la secuencia óptima de operación. En la mayoría de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica no se requieren dichos estudios para determinar la secuencia de operación, porque el flujo de agua residual doméstica y sus variaciones características son generalmente predecibles. Además, la mayoría de los diseñadores de ese tipo de plantas utilizan diseños de tipo conservador.

El paso de inactividad tiene lugar entre los pasos de extracción y llenado, durante los cuales se hace la remoción del efluente tratado y se adiciona el afluente de agua residual. La duración del paso de inactividad varía dependiendo del caudal afluente y de la estrategia de operación. La homogenización de caudales puede hacerse durante este paso si se utilizan tiempos variables de inactividad. La mezcla para acondicionar la biomasa y la purga de lodos también puede ser llevada a cabo durante el paso de inactividad, dependiendo de la estrategia operacional.

El agua afluente se añade al reactor durante el paso de llenado. Las siguientes modalidades son utilizadas en el paso de llenado, y cualquiera de ellas puede ser usada dependiendo de la estrategia operacional: llenado estático, llenado con mezclado y llenado con aireación. Durante el llenado estático, el agua residual afluente se añade a la biomasa ya presente en el reactor.

El llenado estático no tiene mezcla ni aireación, lo cual significa que se tendrá una alta concentración de sustrato (alimento) una vez se inicie la mezcla. Una alta relación A/M crea un medio propicio para que los organismos crezcan en flóculos en vez de filamentos, lo que da al lodo buenas características de sedimentación. Además, las condiciones de llenado estático favorecen a los organismos que hacen almacenamiento interno de productos durante condiciones de alta concentración de sustrato, lo cual es un requisito para la remoción biológica del fósforo.

El llenado estático puede ser comparado con el uso de compartimientos "selectores" para el control de la relación A/M en un sistema convencional de lodos activados. El llenado con mezcla es llevado a cabo mezclando los compuestos orgánicos del afluente con la biomasa, iniciando así las reacciones biológicas. Durante el llenado con mezcla, las bacterias degradan biológicamente los compuestos orgánicos y utilizan el oxígeno residual u otro compuesto receptor de electrones alterno como los nitratos. En este medio la desnitrificación puede ocurrir en condiciones anóxicas.

La desnitrificación es la conversión biológica de nitratos a gas nitrógeno. Un medio anóxico se define como la condición en la cual no se presenta oxígeno libre y el nitrato es utilizado por los microorganismos como receptor de electrones. En un sistema convencional de remoción biológica de nutrientes, el llenado con mezcla es comparable a la zona anóxica que se utiliza para la desnitrificación. También se pueden obtener condiciones anaerobias durante la fase de llenado con mezcla. Una vez que los organismos han utilizado los nitratos, el sulfato se convierte en el compuesto receptor de electrones. Las condiciones anaerobias se caracterizan por la falta de oxígeno y el uso del sulfato como compuesto receptor de electrones.

El llenado con aireación tiene lugar cuando se suministra aire al contenido del reactor para iniciar reacciones aeróbicas que se completan en la etapa "reacción". El llenado con aireación reduce el tiempo requerido para el paso de reacción.

Las reacciones biológicas se completan en el paso de reacción, en el cual se presenta las modalidades de reacción con mezcla y reacción con aireación. Con aireación se completan las reacciones aeróbicas que se iniciaron durante el llenado aireado, y puede lograrse la nitrificación. La nitrificación es la conversión del nitrógeno en forma amoniacal a nitritos y finalmente a nitratos. Si se selecciona la modalidad de reacción con mezcla se puede llegar a condiciones anóxicas para la desnitrificación. Condiciones anaerobias también pueden ser obtenidas en la modalidad de reacción con mezcla para la remoción del fósforo.

La etapa de sedimentación ocurre normalmente durante condiciones de reposo en el reactor biológico secuencial. En algunos casos una agitación moderada durante las fases iniciales de la sedimentación puede producir un efluente mejor clarificado y lodo sedimentado de textura más consistente. En un reactor SBR no existen corrientes de afluente o efluente que interfieran con el proceso de sedimentación, como sí es el caso de los sistemas convencionales de lodos activados.

La etapa de descarga usa un decantador para remover el efluente tratado, y es el proceso en el cual se diferencian más los fabricantes de sistemas SBR. En general, existen decantadores flotantes y fijos. Los flotantes tienen varias ventajas con relación a los fijos, según se discute en la sección de descripción de tanques y equipos.

Los SBR normalmente eliminan la necesidad de usar sedimentadores primarios y secundarios separados en la mayor parte de los sistemas municipales, reduciendo así los requisitos de operación y mantenimiento. Además, no se requieren bombas de recirculación de lodos. En sistemas convencionales de remoción biológica de nutrientes pueden ser necesarias bombas de recirculación para los reactores anóxicos, los mezcladores de la zona anóxica, los tanques de sustancias tóxicas y los equipos de aireación de estos tanques, también la recirculación interna de nitratos de los MLSS. Con el SBR esto puede lograrse en un solo reactor usando los equipos de aireación y mezcla, minimizando así los requisitos de O/M que, de otra manera, se necesitarían para los sedimentadores y las bombas.

Dado que los elementos críticos de un sistema de SBR son los controles, las válvulas automáticas y los interruptores automáticos, estos sistemas pueden



necesitar un mayor mantenimiento que en los sistemas convencionales de lodos activados. Un incremento en el nivel de sofisticación también significa que existen más elementos que pueden fallar o requerir mantenimiento. El nivel de sofisticación puede ser muy alto en las plantas de tratamiento de SBR de mayor tamaño, requiriéndose un alto esfuerzo de mantenimiento de las válvulas e interruptores automáticos.

Una flexibilidad operativa muy significativa está asociada con los sistemas SBR. Un SBR puede ser ajustado para simular cualquier proceso de un sistema convencional de lodos activados. Por ejemplo, los tiempos de retención en la modalidad de reacción con aireación de un SBR pueden ser modificados para lograr la simulación de un sistema de estabilización por contacto con un tiempo hidráulico de retención (THR) de 3.5 a 7 horas o, al tiempo extremo, un sistema de tratamiento de aireación extendida con un THR de 18 a 36 horas. Para una planta convencional de lodos activados, la modalidad de reacción con aireación (condiciones aeróbicas) y la modalidad de reacción con mezcla (condiciones anóxicas) pueden ser alternadas para lograr la nitrificación y desnitrificación. La modalidad de llenado con mezcla y reacción con mezcla pueden ser usados para lograr la desnitrificación usando condiciones anóxicas. Además, estas modalidades pueden ser finalmente usadas para lograr condiciones anaerobias en las cuales se produce la remoción del fósforo. Los sistemas convencionales de lodos activados normalmente requieren un volumen adicional de tanques para contar con esa flexibilidad. Los sistemas SBR operan en el tiempo en lugar del espacio, y por esto el número de ciclos por día puede ser modificado para controlar los límites deseados del efluente, lo cual es una flexibilidad adicional asociada con los reactores biológicos secuenciales.

#### **IV. Sedimentación secundaria.**

Los criterios para diseño de sedimentadores secundarios se muestran en la (Cuadro 2.23).

Cuadro 2.23 Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga superficial m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d		Carga de sólidos kg/m <sup>2</sup> d		Profundidad m
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
Sedimentación secundaria (WEF, ASCE 4ta edición)	16 – 20 < 34	40 – 65 < 65	100 – 150	245	3.7 – 4.6
Sedimentación secundaria (Metcalf & Eddy) 3ra edición.	8 – 33	24 – 49	23 – 164	164 – 234	3 – 6
Sedimentación después de filtro percolador	16 – 24	41 – 49	-	-	3 – 3.7
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 – 32	41 – 49	98 – 147	245	3.7 – 4.6
Sedimentación después de aireación prolongada	8 – 16	32	98 – 147	245	3.7 – 4.6

Los tanques de sedimentación secundaria son generalmente circulares, pero existen en forma rectangular, cuadrada, hexagonal y octagonal; sin embargo, esto no tiene influencia sobre la calidad del efluente. El mecanismo de remoción más usado es el de tipo cadena y paletas metálicas, hoy preferiblemente de plástico, el cual permite una remoción continua de sólidos. Para tanques circulares con tolvas, es recomendable una pendiente en el fondo de 1/12; pero si se emplea piso plano para el arreglo del mecanismo de remoción de lodos, se aconseja la disminución de la carga superficial en aproximadamente 7 m<sup>3</sup>/ (m<sup>2</sup>.d).

La profundidad óptima de un tanque de sedimentación secundaria depende de muchas variables; la tendencia actual es el aumento de la profundidad para el mejoramiento de la eficiencia, pero es reconocido que un tanque poco profundo opera con igual eficiencia que un tanque con mayor profundidad si se mantiene un manto de lodo mínimo. A la vez, se considera que un manto de lodos grueso mejora la concentración de sólidos del lodo y disminuye los requerimientos de recirculación y su tratamiento posterior.

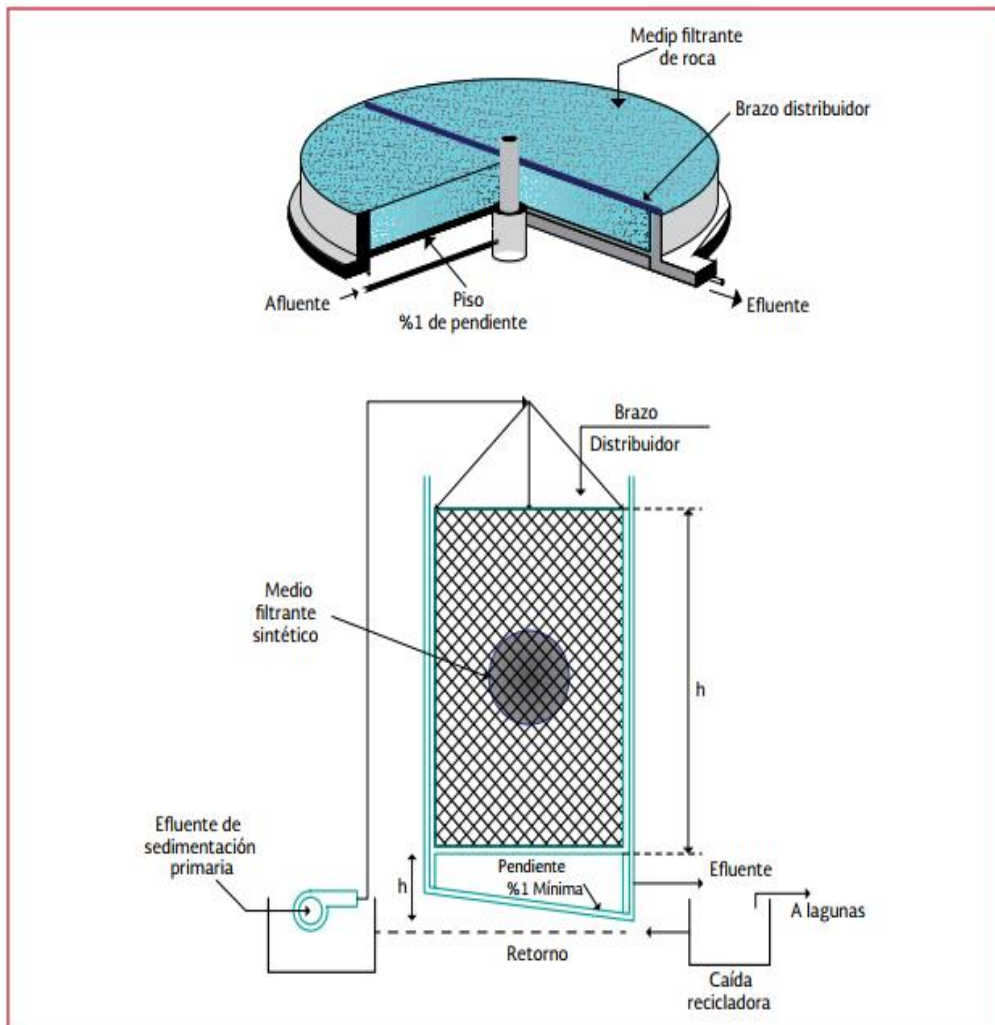
La estructura de entrada al sedimentador secundario se diseña para velocidades de flujo menores de 0.6 m/s, para la minimización de la rotura del flóculo biológico. El rendimiento del sedimentador se mejora mediante pantallas interiores colocadas debajo del vertedero del efluente que permitan el desvío del lodo que se levanta a lo largo de la pared del tanque. La carga de rebose sobre el vertedor de salida es generalmente menor de 2.2 L/(m s). Sin embargo, algunos autores admiten una carga mayor.

En tanques circulares, si se considera necesario se coloca un vertedor efluente doble, a una distancia de un 30 por ciento de la radio del tanque contada desde la pared exterior. En tanques rectangulares los vertedores adicionales se extienden en el último tercio del tanque, espaciados aproximadamente 3 m entre sí.

**A. Sedimentación secundaria: tanques circulares.**

La descripción general de un equipo de sedimentación secundaria se muestra en la Figura 2.23. Existen dos tipos de tanques circulares en la sedimentación secundaria: el alimentado por el centro y el alimentado por la periferia. Ambos utilizan un mecanismo para transportar y remover del tanque los lodos sedimentados. Los lodos últimos son acumulados por el mecanismo en una tolva, al centro del tanque, para ser finalmente removidos del mismo. El efluente se extrae a través de vertedores triangulares, localizados cerca del centro o del perímetro del tanque, según el tipo de sedimentador. El mecanismo de remoción del sobrenadante (desnatador) se localiza en la superficie del tanque. El uso más común de la sedimentación secundaria es para separar los sólidos de lodos activados que se encuentran en la mezcla. También en la producción de sólidos concentrados como flujo de retorno, requeridos en la conservación del tratamiento biológico, y para permitir la sedimentación de sólidos producidos en el sistema de filtros rociadores de baja tasa.

Figura 2.23 Equipo de sedimentación secundaria



### a. Criterios de diseño

Aunque el diseño de los tanques de sedimentación secundaria es similar al de sedimentación primaria, los factores que se deben considerar en el diseño de estos tanques incluyen:

- Tipo de tanque deseado.
- Carga hidráulica superficial.
- Carga de lodos.
- Velocidad de flujo
- Localización de los vertedores
- Carga hidráulica sobre vertedores
- Recolección de material flotante

En la Cuadro 2.24 y la Cuadro 2.25 se resumen los criterios de diseño recomendables.

Cuadro 2.24 Criterios de diseño

Tipo de tratamiento	Carga hidráulica		Profundidad
	L/(s m <sup>2</sup> )		m
	Media	Pico	
De filtros rociadores	0.19 a 0.28	0.47 a 0.57	3.0 a 3.7
De lodos activados (aire) (excepto aireación extendida)	0.19 a 0.38	0.47 a 0.57	3.7 a 4.6
De aireación extendida	0.09 a 0.19	0.38 a 0	3.7 a 4.6
De lodos activados (oxígeno) con sedimentación primaria	0.19 a 0.38	0.47 a 0.57	3.7 a 4.6

Cuadro 2.25 Criterios de diseño

Tipos de tratamiento	Carga de sólidos* kg/(d m <sup>2</sup> )	
	Media	Pico
De filtros rociadores		
De lodos activados (aire) (Excepto aireación extendida)	98 a 146	244
De aireación extendida	976 a 1 953	244
De lodos activados (oxígeno) Con sed. primaria	1 953 a 3 906	244

\*Las cargas de sólidos permisibles son generalmente gobernadas por las características del espesador de lodos, asociadas con la operación en climas fríos.

La tasa de recirculación de lodos en un proceso de lodos activados varía del 15 al 200 por ciento del flujo de agua a la planta, dependiendo de las modificaciones empleadas. La longitud de los baffles no debe de exceder de 91 cm por debajo de la superficie del agua. En la Cuadro 2.26 se presentan otros parámetros de diseño.

Cuadro 2.26 Parámetros de diseño.

Carga hidráulica sobre vertedores (L/s m)	1.44 a 4.31
Velocidad de flujo máxima en la velocidad de los vertedores (cm/s)	0.10 a 0.20
Diámetro de los baffles en la entrada (% del diámetro del tanque)	15 a 20

#### **b. Remoción esperada del proceso.**

La concentración de lodos en el sedimentador de un sistema de lodos activados varía de 0.5 a 2.0 por ciento, dependiendo de las características de concentración y sedimentación de estos. Los sólidos suspendidos en el efluente del sistema varían comúnmente de 20 a 30 mg/L, aunque se ha reportado concentraciones de 11 a 14 mg/Litros.

### c. Otras características

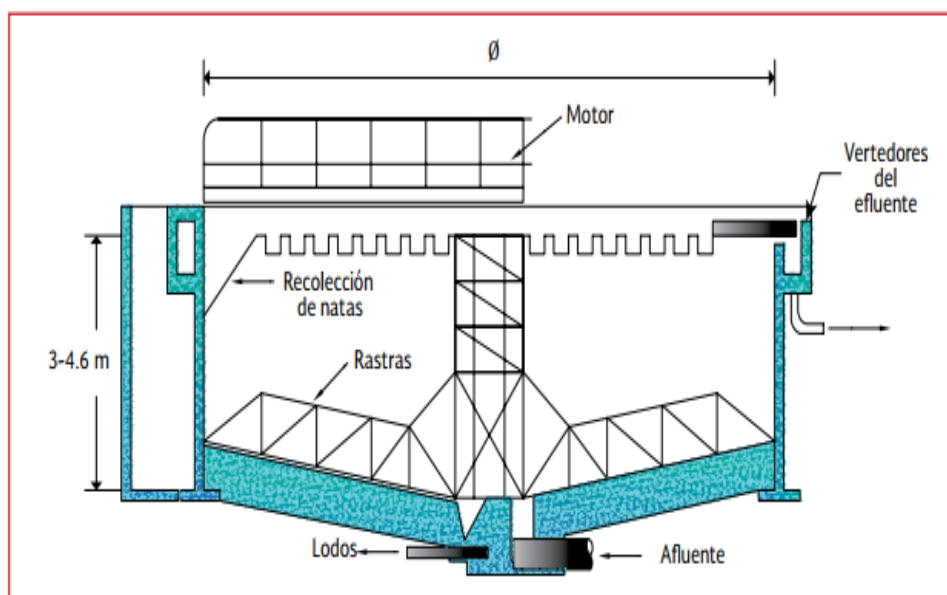
#### Impacto ambiental

Las unidades circulares requieren mayor área que las unidades rectangulares.

#### Confiabilidad del proceso

Generalmente la confiabilidad del proceso es muy alta, sin embargo, el incremento de sólidos a causa de la desnitrificación puede causar problemas al sistema, lo cual se puede evitar con una buena operación del mismo.

Figura 2.24 Esquema de tanque de sedimentación circular



### B. Sedimentación secundaria: tanques rectangulares.

El diseño de sedimentadores secundarios es similar al de sedimentadores primarios, con la excepción de que en el diseño de sedimentadores para lodos activados se deben considerar grandes volúmenes de sólidos en el licor mezclado. Aún más, el licor mezclado tiene la tendencia de fluir a la entrada del tanque como una corriente densa e interferir la separación de sólidos y el espesamiento de los lodos. Para manejar exitosamente estas características se deben de considerar los siguientes factores:

- Tipo de tanque deseado
- Carga hidráulica superficial

- Carga de salidos
- Velocidades del flujo
- Localización de vertedores y sobrecargas
- Recolección de material flotante

El afluente del tanque es distribuido por medio de baffles, y fluye a lo largo del tanque para salir sobre unos vertedores. La longitud máxima es de aproximadamente 91 metros y con profundidades de 3.7 a 4.6 metros.

El equipo de remoción de sólidos consiste de un par de cadenas sin fin, con piezas de madera de 5 cm de espesor y de 15 a 20 cm de profundidad, localizadas a cada 3 metros. La velocidad lineal de las cadenas es de 0.6 a 1.2 m/minutos. También se utilizan rastras para la limpieza de los tanques, fijadas a un puente móvil que viaja a lo largo de la unidad. La colección del material flotante se realiza al final del tanque en el efluente, y su remoción puede ser manual, hidráulica o mecánica.

#### a. Criterios de diseño

Los criterios de diseño recomendados en sistemas de lodos activados se muestran en la Cuadro 2.27.

Cuadro 2.27 Criterios de diseño

Parámetro	Valores	Unidades
Carga hidráulica media	0.19 a 0.38	L/s m <sup>2</sup>
Carga hidráulica pico	0.33 a 0.57	L/s m <sup>2</sup>
Carga media de sólidos	70 a 140	K d m <sup>2</sup>
Carga pico de sólidos	146 a 293	K d m <sup>2</sup>
Velocidad de flujo máximo en los vertedores	3.66 a 7.32	m/h
Profundidad	3.7 a 4.6	m

#### b. Remoción esperada del proceso

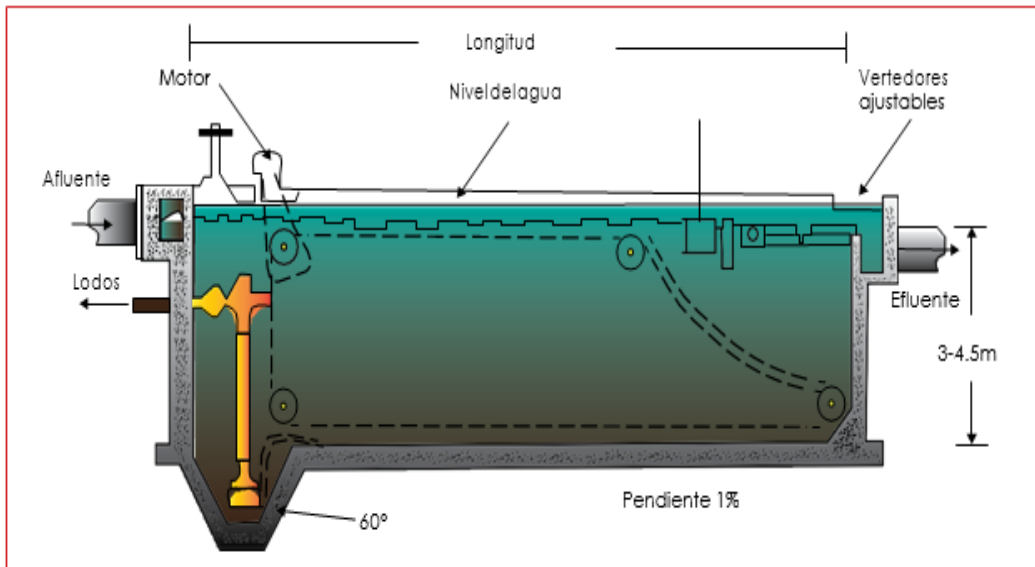
Las concentraciones máximas de sólidos de lodos secundarios en sistemas de lodos activados varían de 0.5 a 2.0 por ciento, dependiendo de las características de sedimentación y compactación de los lodos. Los sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente varían de 20 a 30 mg/Litros.

### c. Otras características

**Impacto Ambiental.** Aunque requiere de grandes extensiones de terreno, el sistema ofrece una eficiencia de espacio mayor que la de sedimentadores circulares.

**Confiabilidad del proceso.** Es altamente confiable, pero depende mucho del buen funcionamiento de los aireadores aguas arriba del sistema para la producción de un buen lodo sedimentable. La confiabilidad mecánica puede ser considerada alta, siempre y cuando se cuente con mantenimiento e inspección adecuados.

Figura 2.25 Esquema de tanque de sedimentación rectangular.



#### 2.6.2.5. Tratamientos extensivos.

Bajo la denominación de métodos de tratamientos extensivos o naturales, se engloban aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural. Habitualmente se diferencian dos grandes grupos: los métodos de tratamiento mediante aplicación en el terreno y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos y en menor medida, a la acción de animales superiores, sin la intervención de agentes artificiales.



Estos procedimientos naturales se caracterizan, por sus menores necesidades de personal de operación, menor consumo energético y menor producción de lodos. Sin embargo, habitualmente requieren mayores superficies de terreno disponibles. Este factor, a veces limitante, es el que determina que los llamados métodos extensivos de tratamiento sean los apropiados y aconsejados para pequeños núcleos rurales.

Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluyen habitualmente tres tipos:

- Infiltración lenta
- Infiltración rápida
- Flujo superficial

El rasgo común entre ellos es el tratamiento obtenido a través de los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, desarrollados en un sistema planta-suelo-agua-matriz rocosa. El avance en el conocimiento de los mecanismos de dichos procesos ha permitido el desarrollo de criterios de diseño y operación para estos sistemas.

Los llamados métodos acuáticos se basan en la creación de un flujo controlado, en el que microorganismos y plantas principalmente, transforman los contaminantes. Incluyen tres tipos básicos:

- Lagunas de estabilización
- Humedales artificiales
- Cultivos acuáticos (plantas flotantes)

Estos últimos se han desarrollado como una variante de lagunas convencionales, aprovechando la captación de nutrientes por las plantas, lo que mejora los rendimientos de las lagunas de estabilización. Estos métodos acuáticos, en general, se proyectan para un flujo continuo con descarga a ríos o lagos próximos. Su sistema de operación es estacional o anual, en función del clima o de los objetivos de tratamiento.

#### **I. Lagunas aireadas**

El proceso de lagunas aireadas es una variante del proceso de lodos activados, con la diferencia significativa de que normalmente no se emplea recirculación de lodos. Esta diferencia trae las siguientes consecuencias:

- Una baja concentración de biomasa en el reactor (SSVLM de 150 a 350 mg/L)
- Altos tiempos de retención necesarios para obtener eficiencias comparables a las del proceso de lodos activados convencional (tiempos de retención de 2 a 7 días)
- Grandes volúmenes de los reactores por lo que resulta más económico construirlos en forma de lagunas con bordos de tierra.

Físicamente las lagunas aireadas son similares a las lagunas de estabilización, con una importante diferencia, que el oxígeno necesario para conservar el proceso de oxidación biológica es suministrado mecánicamente, en el caso de las lagunas aireadas.

Cuadro 2.28 Criterios típicos de diseño

Parámetro	Convencional	Aireación extendida	Unidades
Carga orgánica volumétrica	0.40 a 0.80	0.8 a 1.6	kg DBO/(d m <sup>3</sup> )
Tiempo de aireación	4 a 8	18 a 36	h
SST en el reactor	1 500 a 3 000	3 000 a 6 000	mg/L
Relación A/M	0.25 a 0.50	0.05 a 0.15	kg DBO/(kg SSV d)
Necesidad de aire	54 a 102	204 a 272	m <sup>3</sup> /(kg DBO removida)
Edad de lodos	5 a 10	20 a 40	d
Recirculación		0.75 a 1.50	
Fracción volátil de los SST		0.6 a 0.7	

### A. Características del proceso

Las ecuaciones para el cálculo de necesidades de oxígeno, de generación de lodos y de cinética de remoción de DBO son similares, en principio, a las ecuaciones de proceso convencional de lodos activados, pero con algunas diferencias prácticas, como a continuación se explica.

### B. Requerimientos de oxígeno

Las lagunas aireadas pueden ser diseñadas totalmente mezcladas y totalmente aeróbicas, o parcialmente mezcladas y facultativas (una parte del volumen se encuentra en condiciones aeróbicas y el resto en condiciones anaerobias). En ambos casos, para conservar los sólidos volátiles en suspensión es necesario inyectar al sistema una cierta cantidad de energía en forma de mezclado.

Generalmente, la cantidad de energía requerida por mezclado es mayor que la cantidad de energía requerida por suministro de oxígeno, razón por la cual los requerimientos de mezclado gobiernan generalmente la selección del tamaño de los equipos de aireación. En la Cuadro 2.29 se indican valores típicos de requerimientos de energía por unidad de volumen en lagunas aireadas.

Cuadro 2.29 Valores típicos de requerimientos de energía por unidad de volumen.

Eficiencia del aireador	Energía
kg/ kWh	kWh /m <sup>3</sup>
0.93	0.65 a 0.81
1.23	0.49 a 0.61
1.54	0.39 a 0.49
1.85	0.32 a 0.41

### C. Generación de lodos

En las lagunas completamente mezcladas, para aprovechar mejor la energía suministrada al sistema, es común emplear una unidad de sedimentación del efluente al concentrar y recircular la totalidad de lodos sedimentados al sistema de lagunas, incrementando así la concentración de SSVLM hasta 800 mg/Litros. En el caso de lagunas facultativas, y dependiendo de las normas de SS en el efluente, se pueden emplear lagunas facultativas o de maduración.

### D. Otras características

Como todo proceso biológico, la remoción esperada del proceso se mejora cuando las unidades de tratamiento se operan en serie. Por esta razón se recomienda un mínimo de dos lagunas en serie.

Una ventaja de las lagunas aireadas es que, debido a sus altos tiempos de retención, resisten favorablemente sobre cargas orgánicas o hidráulicas.

Debido a los incrementos en los costos de energía eléctrica registrados en los últimos años, la aplicación del proceso de lagunas aireadas se ha visto limitada al tratamiento de desechos industriales con altas concentraciones de contaminantes, y cuando la disponibilidad de terrenos es alta y a bajo costo.

Para el tratamiento de aguas residuales municipales, el proceso de lagunas aireadas ofrece pocas ventajas que compensen sus altos consumos de energía.

### **E. Remoción esperada del proceso**

Históricamente la aireación en las lagunas fue empleada para impedir el crecimiento excesivo de algas y otras condiciones, producidas por sobrecarga orgánica y variaciones estacionales de temperatura. De esta experiencia se encontró que las lagunas aireadas mantienen una remoción de DBO, DQO y SS aceptable en períodos de retención más cortos que en las que no tienen aireación.

- Remoción de DBO: 60 a 90 por ciento.
- Remoción de DQO: 70 a 90 por ciento.
- Remoción de SST: 70 a 90 por ciento.

### **F. Criterios de diseño**

Operación. Lagunas aireadas en serie, seguidas de lagunas para la separación de sólidos suspendidos.

Tiempo de retención= 2 a 8 días

Profundidad = 1.8 a 3.6 m

Requerimientos de oxígeno = 0.7 a 1.4 veces la DBO removida

### **G. Impactos ambientales**

Los impactos ambientales más importantes del proceso son:

- Riesgo de contaminación de los acuíferos por infiltración, en cuyo caso es necesario el empleo de impermeabilizantes en el fondo y en los bordos de las lagunas
- Altos consumos de energía eléctrica.

Figura 2.26 Lagunas aireadas

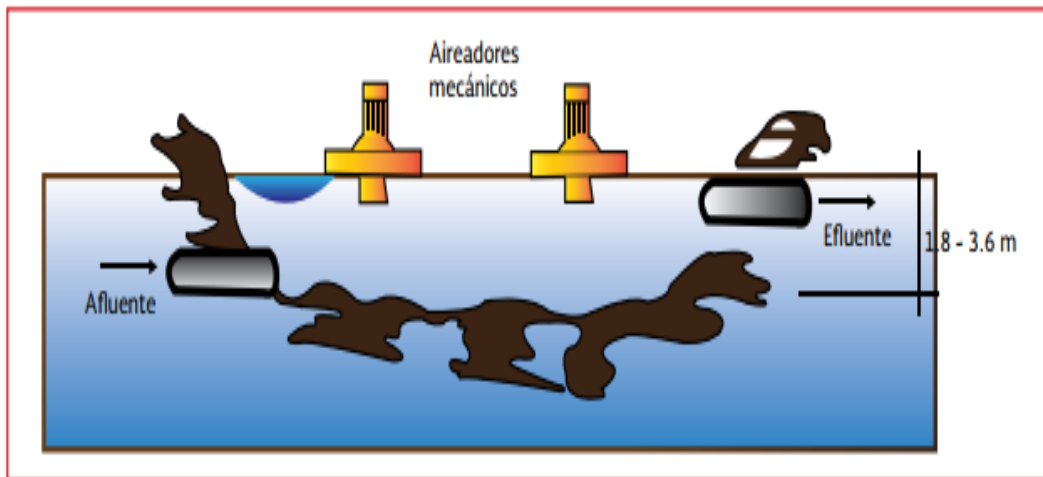
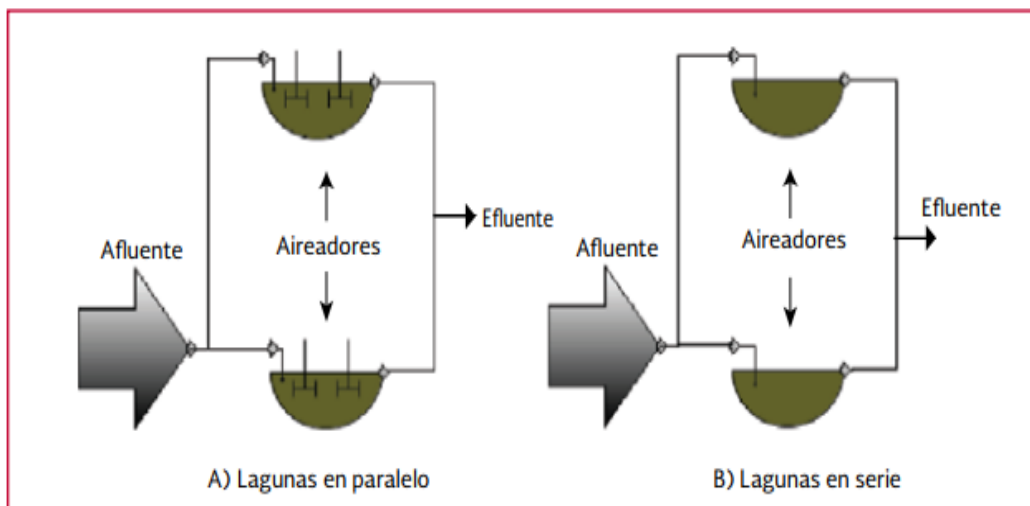


Figura 2.27 Esquema de laguna aireada



## II. Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas han sido ampliamente usadas por muchos años en el tratamiento de aguas residuales de origen municipal. Sus bajos costos de operación, la confiabilidad del proceso y los bajos requerimientos de mano de obra calificada para su operación, son sólo algunas de las razones que explican la popularidad de este sistema de tratamiento.

La profundidad empleada en las lagunas facultativas varía de 1.2 a 2.4 metros. El agua de las lagunas se encuentra estratificada, con una capa inferior anaerobia, una capa superior aeróbica y una zona intermedia de transición. El oxígeno presente en la capa superior tiene su origen en la actividad fotosintética de las algas presentes en la zona fótica, o zona iluminada por la luz solar, y la recreación superficial.

Los sólidos en suspensión y las células de algas muertas se depositan en el fondo de la laguna donde se estabilizan anaerobiamente.

La generación de oxígeno por la actividad fotosintética está sujeta al ciclo diurno de insolación; durante el día se presentan altas concentraciones de oxígeno disuelto y bajas concentraciones durante la noche.

#### **A. Características del proceso**

En un óptimo funcionamiento las lagunas deben ser operadas en serie. Para la operación en serie, se pueden construir lagunas independientes separadas por bordos de tierra, o se puede encauzar el flujo del agua en una sola laguna con ayuda de barreras flotantes. Las barreras flotantes consisten en cortinas con balastre en el fondo y flotadores en la parte superior. Las cortinas son sujetadas en su sitio por medio de cables horizontales y, en caso de que la longitud de la cortina sea mayor de 50 m, con ayuda de contrapesos de concreto en el fondo de la laguna. Un factor importante en la selección del material de las cortinas es su resistencia al intemperismo y a posibles ataques químicos o biológicos.

Es costumbre emplear lagunas facultativas sólo en los casos en que no exista riesgo de contaminación a los acuíferos, pues la impermeabilización artificial de las lagunas incrementa en forma desmedida su costo de construcción. El riesgo de contaminación de los acuíferos se elimina cuando el suelo es impermeable o moderadamente permeable, cuando el acuífero es confinado o profundo, o cuando los pozos de explotación del acuífero se encuentran alejados de las lagunas.

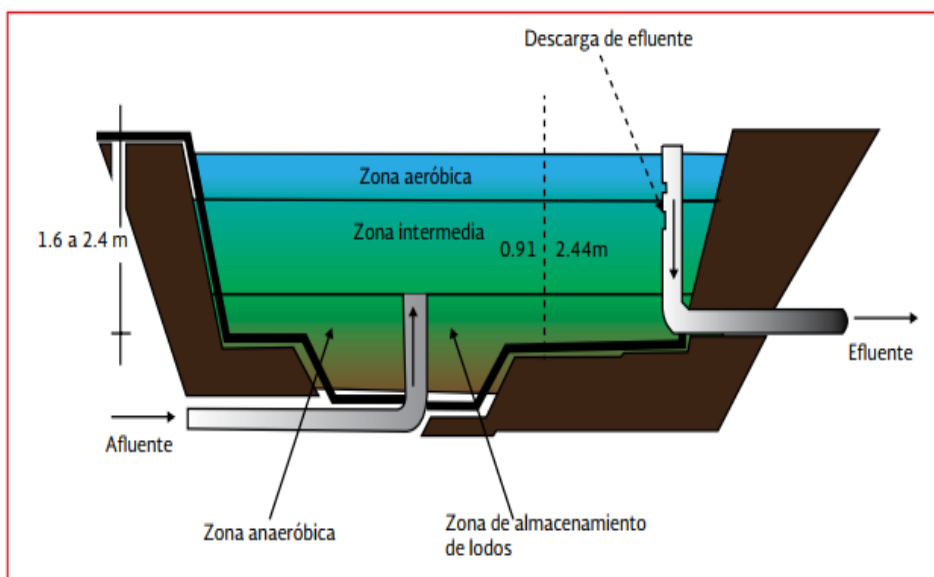
El talud de los bordos de las lagunas debe fijarse en función de las características específicas del suelo en cada caso. Es costumbre emplear taludes con relación de 3:1 (horizontal: vertical). Para prevenir la erosión de los bordos, así como la proliferación de plantas en las orillas de las lagunas, se recomienda el zarpeado de la zona de los bordos en la superficie de la laguna y operar, en lo posible, las lagunas a un nivel constante de agua.

La presencia de plantas en la zona de bordos puede dar lugar a plagas, roedores, arañas y mosquitos, problemas de salud pública asociados con lagunas facultativas mal operadas o mal construidas.

El afluente a las lagunas debe ser sometido previamente a un pretratamiento para la eliminación de arenas y material grueso. En casos excepcionales, cuando la concentración de sólidos suspendidos en el agua cruda es muy alta, se puede usar una sedimentación primaria, situación que no es frecuente en el caso de aguas residuales de origen doméstico.

La sobrecarga orgánica de las lagunas puede llegar a crear condiciones continuas de anaerobicidad, con los consecuentes problemas de olores (esta situación es discutida en la Figura 2.28, Lagunas Anaerobias).

Figura 2.28 Esquema de laguna facultativa



### B. Criterios de diseño

Las recomendaciones presentadas en la Cuadro 2.30 provienen de los criterios empíricos de diseño que han sido recopilados por diversas instituciones e investigadores.

$$t = 0.349S_0(1.085^{35.0 - T})$$

Donde:

t = Tiempo de retención (WPCF)

S<sub>0</sub> = DBO total del afluente

T = Temperatura del agua (°C)

Cuadro 2.30 Valores para la Ecuación anterior.

$S_o$ (mg/l)	Tiempo de retención (d)					
	Temperatura (°C)					
	10	15	20	25	30	35
100	27	18	12	8	5	3
200	54	36	24	16	10	7
300	80	54	36	24	16	10
400	107	71	47	32	21	14

### C. Impacto ambiental

- Requiere extensiones considerables de terreno
- Riesgo de contaminación de los acuíferos por infiltración. En cuyo caso sería necesario el empleo de impermeabilizantes en el fondo y en los bordos de las lagunas, ya que esto incrementaría en forma excesiva el costo del sistema, no se recomienda el empleo de este proceso cuando esto sea necesario.

### III. Lagunas anaerobias.

Las lagunas anaerobias son relativamente profundas (hasta 6.0m) con taludes de bordos muy fuertes. En una laguna anaerobia típica, el agua residual entra muy cerca del fondo (frecuentemente por el centro de la laguna) y se mezcla con la biomasa sedimentada que tiene un espesor de aproximadamente 6 pies (1.8 m).

El efluente se localiza en la parte superior de la laguna y debe estar por abajo de la superficie del líquido. El exceso de grasa no digerida flota formando un cobertor que evita que el calor se pierda y que entre aire.

El proceso no requiere de recirculación de lodos.

#### Impacto ambiental

Puede causar olores así como la contaminación del agua subterránea, a menos de que las lagunas se impermeabilicen. Requiere extensiones grandes de terreno.



## Confiabilidad del proceso

Altamente confiable si el pH del agua residual se controla en su ámbito óptimo.

Requerimientos de energía. Las lagunas son operadas con flujos de agua por gravedad, por lo tanto, no tiene requerimientos de energía, aparte del bombeo que pueda ser necesario para alimentar el agua residual a las lagunas (Cuadro 2.31).

Cuadro 2.31 Valores típicos para diseño.

Parámetro	Dimensión	Unidades
Área de cada laguna en serie	1 a 4	Ha
Régimen de operación	Serie o Paralelo	
Tiempo de retención hidráulico	7 a 30	d
Profundidad	1.8 a 2.4	m
Carga hidráulica	1.5 a 4.4	L/(s ha)
Carga orgánica		
Por unidad de superficie	56 a 168	kg/(ha d)
Requerimientos de área	6 803 a 2 268	m <sup>2</sup> /(L/s)
	178 a 59	m <sup>2</sup> /(kg DBO/d)
Temperatura óptima del agua	20	°C
Ámbito de temperaturas	2 a 32	°C
Remoción de DBO	80 a 95	%
Concentración de algas	40 a 160	mg/L
Remoción de coliformes	>99	%
Sólidos suspendidos en el efluente		
Algas	(0.2 a 0.8) DBO <sub>0</sub>	(mg/L)*
Microorganismos	(0.2 a 0.5) DBO <sub>0</sub>	(mg/L)*
Otros	(0.1 a 0.4) SS <sub>0</sub>	(mg/L)*
<b>DBO del efluente</b>		
Soluble	(0.02 a 0.1) DBO <sub>0</sub>	mg/L
Insoluble	(0.30 a 1.0) SS <sub>0</sub>	mg/L
<b>Calidad típica del efluente</b>		
DBO	15 a 40	mg/L
SS	25 a 50	mg/L
PH	6.5 a 9	mg/L

\* Datos del afluente

### 2.6.2.6.. Desinfección.

El objetivo primordial de los procesos de desinfección, como parte del tratamiento de aguas residuales es la desactivación o destrucción de los microorganismos patógenos que puedan encontrarse en el agua residual municipal. A diferencia de la esterilización, proceso que conduce a la destrucción total de los organismos, no todos los organismos se destruyen durante el proceso.

En el tratamiento de aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amibianos. Es de suma importancia que las aguas residuales sean tratadas adecuadamente antes de realizarse las actividades de desinfección para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz.

### **I. Cloración.**

La cloración es el proceso de desinfección de aguas residuales más comúnmente usado. El proceso incluye la adición de cloro o hipoclorito al agua residual. Cuando se usa cloro, este se combina con agua para formar ácido hipocloroso (HClO) y ácido clorhídrico (HCl). El ácido hipocloroso es el desinfectante primario en el agua. En aguas residuales, los desinfectantes primarios son las especies de monocloroaminas. Por lo tanto, la tendencia del ácido hipocloroso para disociarse a ácido hipoclorito debe evitarse manteniendo un pH menor de 7.5. La demanda de cloro se determina mediante la diferencia entre el cloro suministrado y la concentración del cloro residual, medido después de un tiempo de la aplicación del cloro, usualmente de 15 a 30 minutos. El tanque de contacto de cloro cuenta con baffles para tener buen mezclado y evitar los atajos del flujo.

La cloración usada en desinfección tiene el objetivo de prevenir la proliferación de enfermedades, el control de crecimientos de algas y producción de olores.

#### **A. Criterios de diseño.**

Generalmente se requiere un tiempo de contacto de 15 a 30 minutos para flujos pico. Los tanques de contacto se deben diseñar con baffles para evitar atajos del flujo. Se requiere una concentración de, por lo menos, 0.15 mg/L de cloro residual. En la Cuadro 2.32 se presentan las dosis típicas para desinfección del agua residual.

Cuadro 2.32 Dosis típicas para desinfección

Efluente	Dosis (mg/L)
Aguas crudas (precloración)	6 - 25
Sedimentación primaria	5 - 20
Tratamiento de precipitación química	3 - 10
Filtros rociadores	3 - 10
Lodos activados	2 - 8
Filtros de lechos mixtos + lodos activados	1 - 5

### B. Remoción esperada del proceso

En la Cuadro 2.33 se presentan los coliformes remanentes después de un tiempo de contacto de 30 minutos con el cloro, suponiendo un efluente primario con contenido de coliformes totales de 35 000 000, y un efluente secundario con contenido de coliformes totales de 1 000 000. Los valores dados dependen de una buena mezcla, un régimen de flujo altamente turbulento seguido de un flujo pistón en el tanque de contacto.

Cuadro 2.33 Coliformes remanente.

Cloro residual mg/L	Coliformes totales remanentes (NMP/100 mL)	
	Efluente primario	Efluente secundario
0.5 - 1.5	24 000 - 400 000	1 000 - 12 000
1.5 - 2.5	6 000 - 24 000	200 - 1 000
2.5 - 3.5	2 000 - 6 000	60 - 200
3.5 - 4.5	1 000 - 2 000	30 - 60

### C. Otras características

#### Impacto ambiental

El uso de cloro puede causar la formación de hidrocarburos clorados. Requerimientos de terreno relativamente pequeños.

#### Confiable del proceso

Extremadamente confiable.

## Limitaciones

Puede causar la formación de hidrocarburos clorados, generalmente conocidos como componentes carcinógenos. La eficiencia de la cloración depende grandemente del pH y la temperatura del agua residual. El gas cloro es un material peligroso y requiere de un manejo adecuado. El cloro oxida el amoníaco y el ácido sulfhídrico, así como metales presentes en sus estados reducidos.

Figura 2.29 Esquema de tanque de cloración

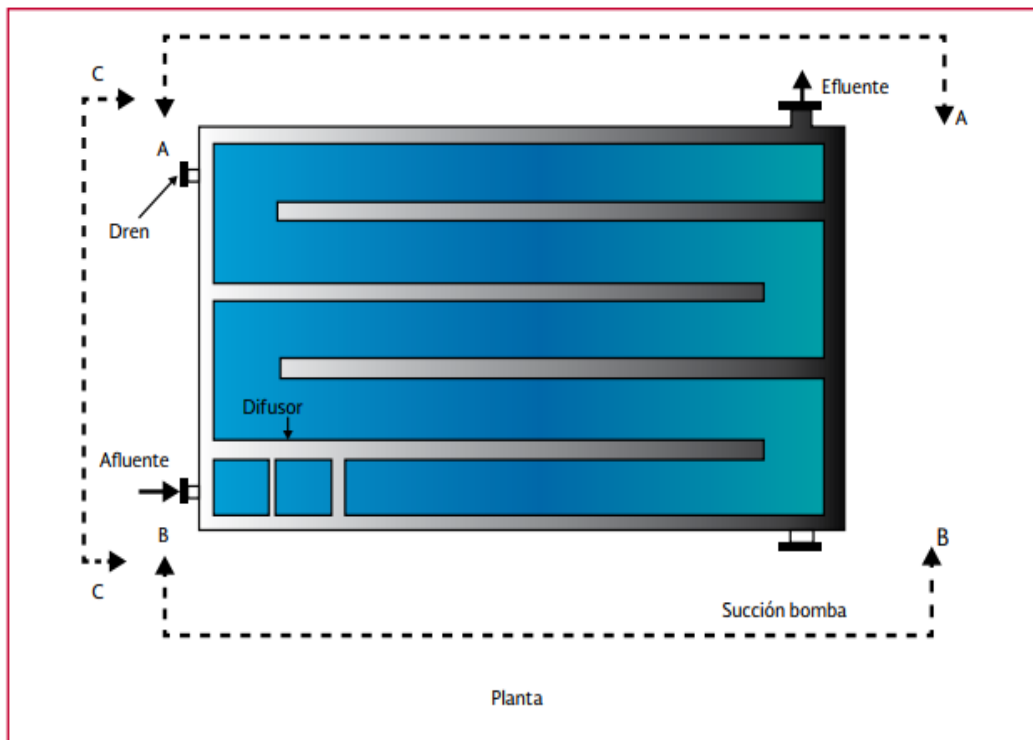
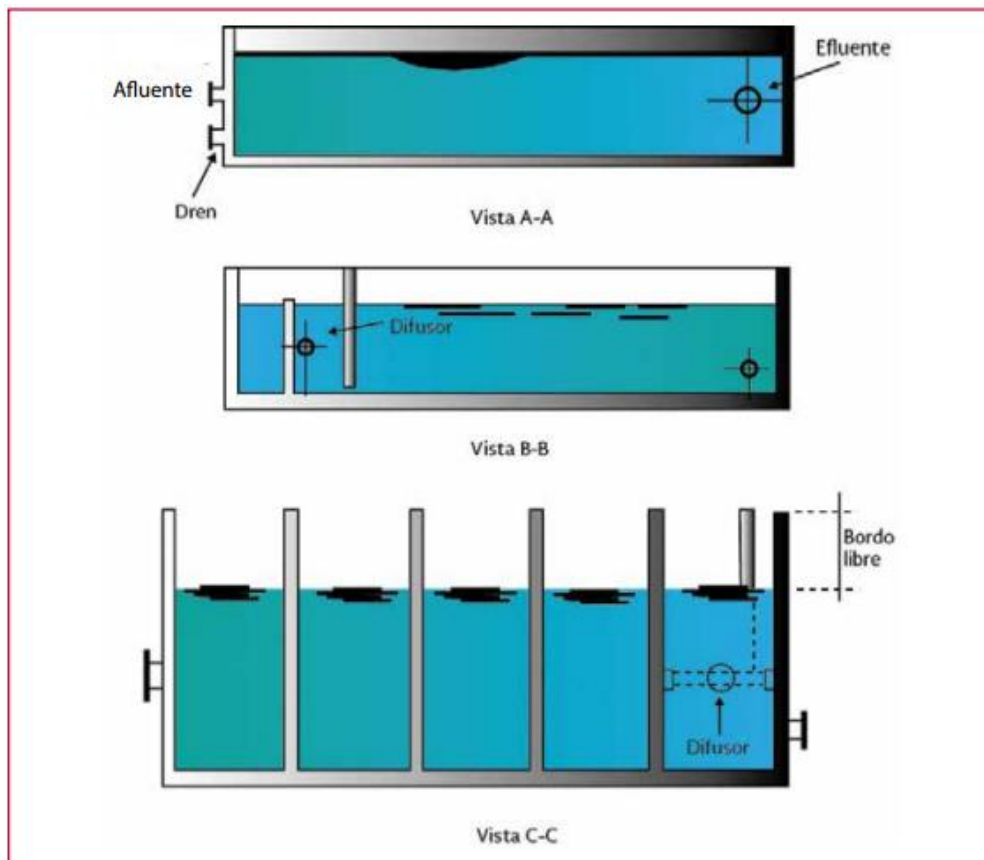


Figura 2.30 Esquema de tanque de cloración (continuación).



## II. Luz ultravioleta.

Con la dosis adecuada, la radiación ultravioleta (UV) es un bactericida y eliminador de virus efectivo que no forma subproductos tóxicos. El espectro electromagnético de la radiación UV es de 100 a 400 nm y la máxima acción germicida se ubica en el rango de 220-320 nanómetros. La radiación UV se produce cuando lámparas con mercurio son sometidas a un arco eléctrico y la energía generada por la excitación del vapor de mercurio resulta en la emisión de radiación. Uno de los aspectos relevantes es que la hidráulica del sistema permita velocidades uniformes para el logro de un tiempo de exposición apropiado.

Si bien las coliformes dispersas son inactivadas fácilmente pues son expuestas directamente a la radiación UV, cuando estas se encuentran asociadas a partículas se forma un escudo que impide su destrucción, lo que en algunos casos resulta en un residual de bacterias a la salida del proceso.

Como ventajas presenta mayor efectividad a comparación del cloro en la inactivación de virus, esporas y quistes; así mismo, no incrementa la concentración de sólidos disueltos y es más segura pues elimina la necesidad de almacenamiento de químicos peligrosos. En contraste, como desventajas se enlistan que no presenta un efecto residual, genera un mayor consumo de energía y reduce su efectividad debido a los contaminantes disueltos presentes en el agua, los cuales afectan la absorbancia y atenúan el efecto de la radiación.

### **III. Ozonación.**

El ozono (O<sub>3</sub>) puede ser usado como desinfectante del agua residual, después de que ésta se haya sometido a tratamiento. Como desinfectante (con dosis comunes de 3 a 10 mg/L), el ozono es un agente efectivo en la desactivación de bacterias, esporas bacterianas y microorganismos vegetativos encontrados en las aguas residuales. Adicionalmente, el ozono actúa para oxidar químicamente materiales encontrados en el agua residual, pudiendo reducir la DBO y DQO, y formando orgánicos oxigenados intermedios y productos finales. El tratamiento con ozono reduce el color y olor del agua residual. El ozono es inestable y se descompone a oxígeno elemental en un período de tiempo relativamente corto (su vida media es de aproximadamente 20 minutos). Consecuentemente, no puede ser almacenado y debe ser producido en el sitio de aplicación usando aire u oxígeno como materia prima. La tasa de generación de ozono se encuentra influenciada por el uso común de aparatos automáticos para el control del voltaje, frecuencia, flujo de gas y humedad. La inyección del ozono al flujo de agua residual puede ser llevada a cabo mediante el uso de aparatos de mezcla mecánicos, columnas de flujo a corriente o contracorriente, difusores porosos o inyectores jet. Por su rápida acción requiere de períodos de contacto relativamente cortos.

#### **A. Criterios de diseño**

Tiempo de contacto = 1 a 16 minutos

Dosis = 5 a 10 mg/L

## B. Remoción esperada del proceso

Los materiales orgánicos oxidables presentes en el agua residual consumen el ozono más rápido que la desinfección. Entonces la eficiencia de desinfección está inversamente correlacionada con la calidad del efluente, pero es directamente proporcional a la dosis de ozono. Cuando se suministran cantidades suficientes de ozono, éste es un desinfectante más completo que el cloro. En la Cuadro 2.34 se presentan los resultados reportados de desinfección por ozonación.

Cuadro 2.34 Resultados reportados de desinfección por ozonación.

Afluente	Dosis (mg/L)	Tiempo de cont. (min)	Efluente
Efluente secundario	5.5-6.0	<=1	<2 coliformes fecales/100 mL
Efluente secundario	10	3	99% de inactivación de coliformes fecales
			<200 coliformes fecales/100mL esterilización de virus
Efluente secundario	1.75-3.5	13.5	
Agua potable	4	8	

## C. Otras características

### Impacto ambiental

El ozono es un contaminante del medio ambiente el cual puede decolorar o matar la vegetación que entra en contacto con él. Es tóxico cuando se inhala en grandes cantidades.

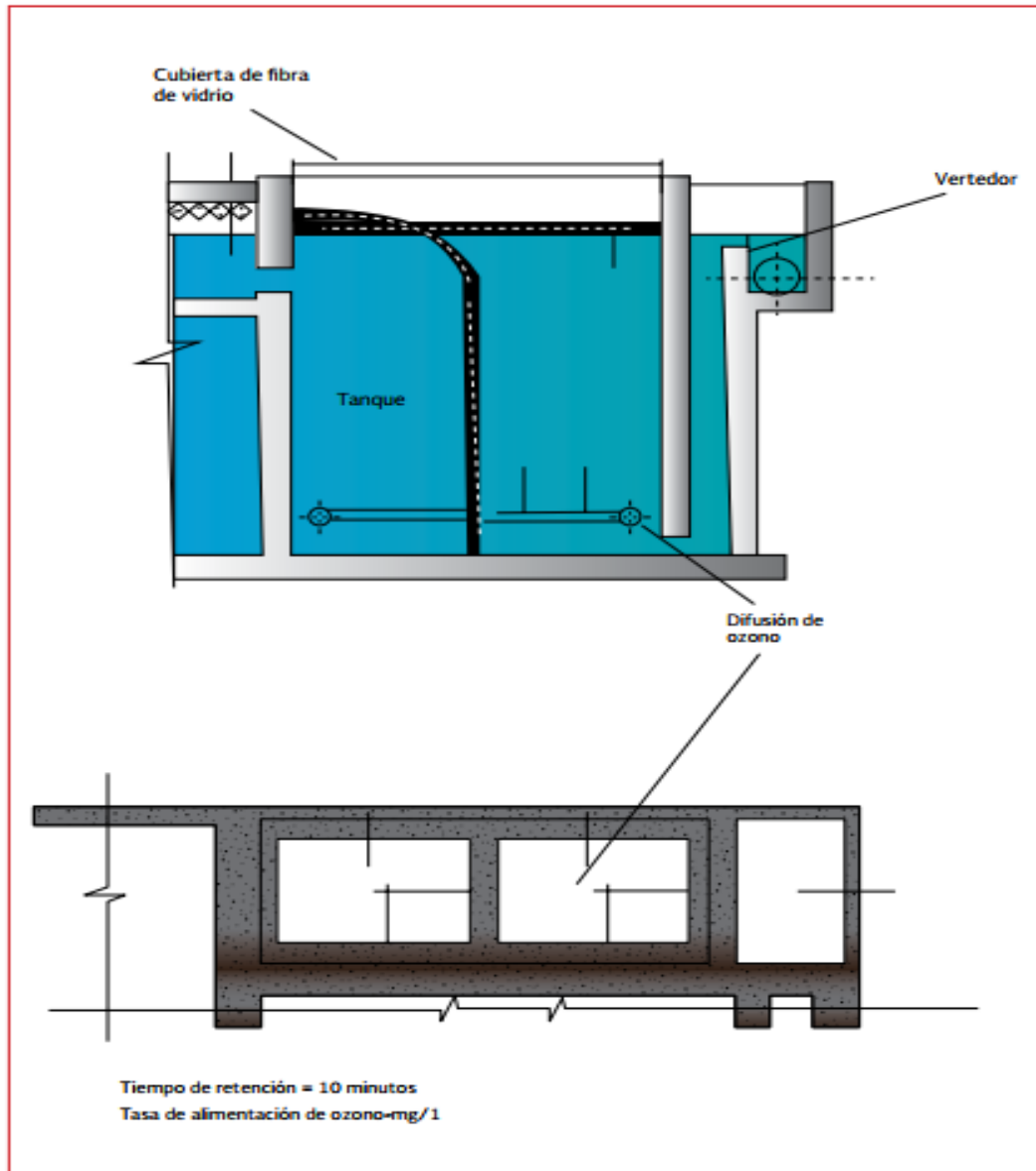
### Confiabilidad del proceso

De alta confiabilidad en la desactivación de microorganismos.

### Limitaciones

La ozonación puede no ser económicamente competitiva con la cloración bajo ciertas condiciones locales no restrictivas.

Figura 2.31 Tanque de ozonación.



### 2.6.2.7. Estabilización de lodos residuales.

Uno de los principales problemas en el tratamiento de aguas y de aguas residuales es el relacionado con el tratamiento y disposición de lodos. En los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua; su deshidratación y disposición final representan un alto porcentaje del costo del tratamiento de agua. En plantas de tratamiento de aguas residuales el costo del tratamiento y disposición de lodos representa hasta un 50% del costo del tratamiento de toda la planta.



Los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas son principalmente los siguientes:

- Lodo primario proveniente de la sedimentación de aguas residuales
- Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico de aguas residuales
- Lodos digeridos provenientes de los dos 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.

En la Cuadro 2.35 se resumen las principales fuentes de sólidos y lodos en una planta convencional de tratamiento de aguas residuales.

Cuadro 2.35 Fuentes de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales.

Unidad	Tipo de sólido o de lodo	Observaciones
Cribado	Sólidos gruesos	Los sólidos retenidos por la criba son removidos manual o mecánicamente
Desarenadores	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en desarenadores
Preaireación	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en la preaireación. Se presenta sedimentación de arena si no existen desarenadores antes de la preaireación
Sedimentación primaria	Lodo y espuma primarios	La cantidad depende del tipo de agua residual afluyente
Tratamiento biológico	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos son el resultado de la síntesis biológica de la materia orgánica
Sedimentación secundaria	Lodo y espuma secundarios	La remoción de espuma es requisito exigido por algunas agencias de protección ambiental
Tratamiento de lodos	Lodo, composta, cenizas	El lodo obtenido depende de su origen y del proceso usado en su tratamiento

La estabilización de los lodos reduce la presencia de patógenos, elimina los olores desagradables y el potencial de putrefacción. Los medios de estabilización más eficaces para el logro de estos objetivos son: la reducción biológica del contenido de materia volátil, la oxidación química de la materia volátil, la adición de agentes químicos que hacen que el lodo no sea adecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor para la desinfección o esterilización.

Las técnicas más utilizadas para la estabilización de los lodos son: la digestión aerobia, la digestión anaerobia, la estabilización con cal, el tratamiento térmico y el compostaje.

### **I. Digestión anaerobia.**

Este proceso de estabilización de lodos se basa en la degradación de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno molecular. Es uno de los procesos más antiguos. La materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios, se convierte principalmente en metano (CH<sub>4</sub>) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado, donde se introducen los lodos, ya sea en forma continua o intermitente, permaneciendo dentro del reactor por tiempos considerables. El lodo estabilizado, extraído del reactor tiene una concentración reducida de materia orgánica y agentes patógenos vivos.

#### **Tipos de digestores anaerobios**

Los digestores utilizados se clasifican en reactores de baja y alta carga. En los digestores de baja carga, la mezcla de lodos no se calienta ni se mezcla su contenido, los tiempos de retención varían entre 30 y 60 días. En contraste los digestores de alta carga disponen de dispositivos para el calentamiento y mezcla del lodo contenido en el digestor. Los procesos para la mezcla de los lodos se efectúan mediante la recirculación de los gases, mediante mezcladores mecánicos, mediante bombeo o mezcladores con tubos de aspiración.

El tiempo de retención para este tipo de digestores generalmente es menor a 15 días. Los dos procesos pueden combinarse en lo que se denomina proceso de doble etapa.

El gas producido en la digestión anaerobia de las aguas residuales domésticas contiene entre el 65 y 70 por ciento de metano y entre el 25 y 30 por ciento de dióxido de carbono, así como nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y otros gases en cantidades traza.

El gas de digestión se utiliza como combustible y tiene un poder calórico de aproximadamente 22 400 kJ/metro cúbico. Como referencia el gas natural tiene un poder calórico de 37300 kJ/ metro cúbico.

## **II. Estabilización aerobia.**

El proceso de la estabilización aerobia es un método alternativo para el tratamiento de lodos orgánicos. Los digestores pueden ser usados para tratar solamente lodos activados, mezclas de desechos de lodos activados, lodos primarios y lodos de filtros rociadores, o lodos de plantas de tratamiento de lodos activados sin sedimentación primaria. Las ventajas de la estabilización aerobia, comparada con la estabilización anaerobia son:

- La reducción de sólidos volátiles es aproximadamente la misma que la obtenida en condiciones anaerobias.
- Menores concentraciones de DBO en el licor sobrenadante
- Obtención de un producto final biológicamente estable y sin olor que puede ser de fácil disposición.
- Producción de un lodo con excelentes características de desaguado.
- Recuperación de casi todo el valor básico de fertilización en el lodo.
- Muy pocos problemas de operación.
- Menor costo de capital.

La principal desventaja del proceso parece ser el alto costo del suministro de oxígeno. Entre los principales objetivos de la estabilización aerobia se incluyen la reducción de olores y de sólidos biodegradables, y el mejoramiento de las características de desaguado de los lodos. El oxígeno puede ser suministrado con aireadores superficiales o con difusores.

### **A. Descripción del proceso.**

La estabilización aerobia es similar al proceso de lodos activados. Conforme la comida disponible se termina, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma y así obtener energía para el mantenimiento de las células.

Cuando esto ocurre se dice que los microorganismos se encuentran en la fase endógena. Las células de los tejidos son oxidadas de condiciones aerobias a dióxido de carbono, agua y amoníaco. Solamente del 75 al 80 por ciento de las células de los tejidos pueden ser oxidadas. El remanente 20 a 25 por ciento, está formado de componentes inertes y orgánicas que no son biodegradables.

Conforme la estabilización continúa, el amoníaco es subsecuentemente oxidado a nitratos. Cuando se digieren condiciones aerobias en los dos activados o lodos de filtros rociadores mezclados con lodos primarios, toma lugar una oxidación directa de la materia orgánica en el lodo primario y también, una oxidación endógena de las células de los tejidos.

### **B. Criterios de diseño.**

El diseño de estabilizadores aerobios es similar al de los tanques rectangulares de aireación. Además, usan sistemas de aireación convencionales. En la Cuadro 2.36 se presentan los criterios de diseño para digestores estabilizadores aerobios.

El tiempo de retención se deberá incrementar para temperaturas menores a 20° Celsius. Si solamente los lodos activados van a ser digeridos en condiciones aerobias, el tiempo de residencia promedio, para obtener una reducción dada de sólidos volátiles, se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$\frac{C_o}{C_i} = \frac{1}{\left(1 + \frac{kV}{Q}\right)}$$

donde:

- $C_o$  = Concentración del efluente (mg/L)
- $C_i$  = Concentración del afluente (mg/L)
- $V$  = Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)
- $Q$  = Flujo (L/s)
- $k$  = Tasa de remoción (en unidades consistentes)

El porcentaje remanente de materia orgánica en el reactor ( $S/S_0$ ) se obtiene con la ecuación siguiente.

$$\frac{S}{S_0} = \frac{4e^{(\frac{1}{2})}}{(1+a)^2 e^{(\frac{a}{2})} - (1-a)^2 e^{(-\frac{a}{2})}} \quad \text{Donde,} \quad a = (1 + 4ktd)^{0.5}$$

- $S$  = Concentración del efluente
- $S_0$  = Concentración del afluente
- $d$  = Factor de dispersión  $d = D/uL$
- $D$  = Coeficiente axial de dispersión (m<sup>2</sup>/h)
- $u$  = Velocidad de flujo (m/h)
- $L$  = Largo característico (m)
- $k$  = Constante de reacción de primer orden
- $t$  = Tiempo de retención (h)

Valores representativos del coeficiente  $k$  pueden ser de 0.05 a 0.07/d aproximadamente. Los valores de  $kt$  pueden ser estimados con la Figura 2.32. Los valores de  $kt$  en la ecuación anterior versus el porcentaje remanente ( $S/S_0$ ) para varios factores de dispersión ( $d$ ).

Cuadro 2.36 Criterios de diseño

Parámetro	Valor
<b>Tiempo de retención hidráulico a 20°C (d)</b>	
Lodos activados solamente	10-16
Lodos activados de plantas sin sedimentación primaria	16-18
Lodos primarios + activados o de filtros rociadores	18-22
Carga de sólidos kg SSV/(d m <sup>3</sup> )	0.32-6.41
<b>Requerimientos de oxígeno kg/kg destruidas</b>	
Células de tejidos	2
DBO en lodos primarios	1.6-1.9
<b>Requerimientos de energía para la mezcla</b>	
Aireadores mecánicos HP/1 000 m <sup>3</sup>	17.66-44.14
Mezcla de aire, m <sup>3</sup> /(min/28.32 m <sup>3</sup> )	20-60
Oxígeno disuelto mínimo (mg/L)	1.2

Figura 2.32 Relación de  $kt$  y  $S/S_0$

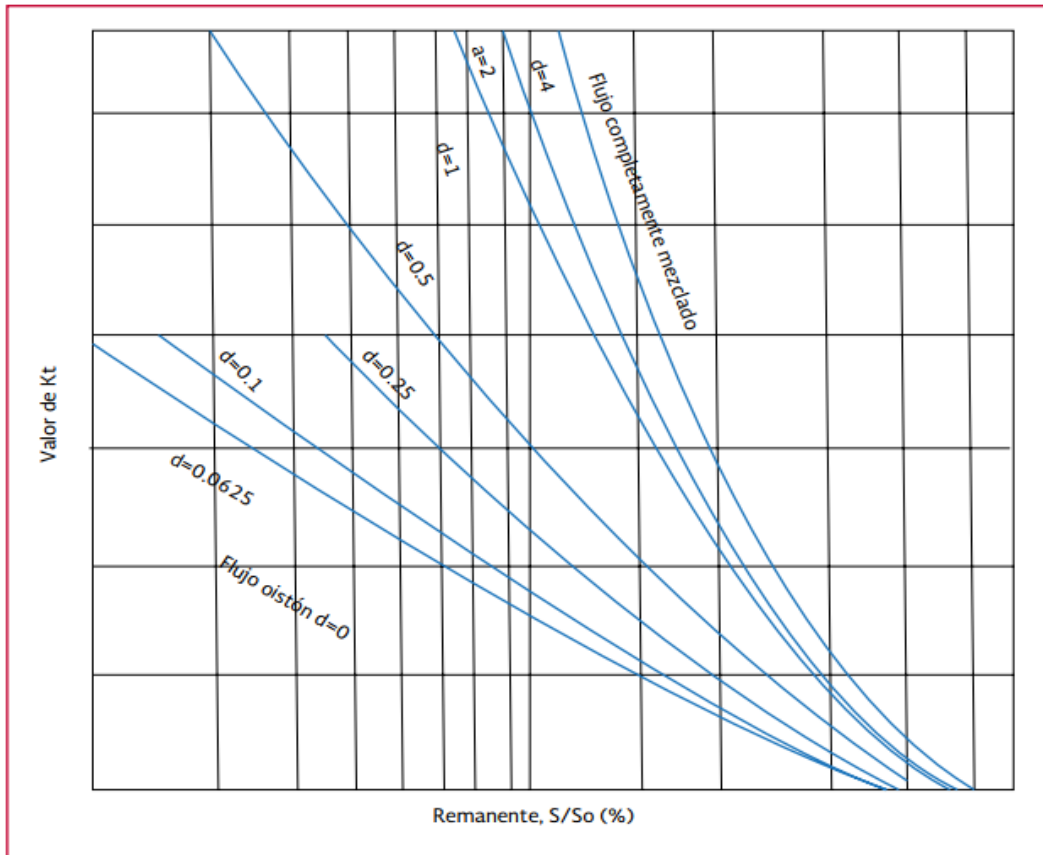
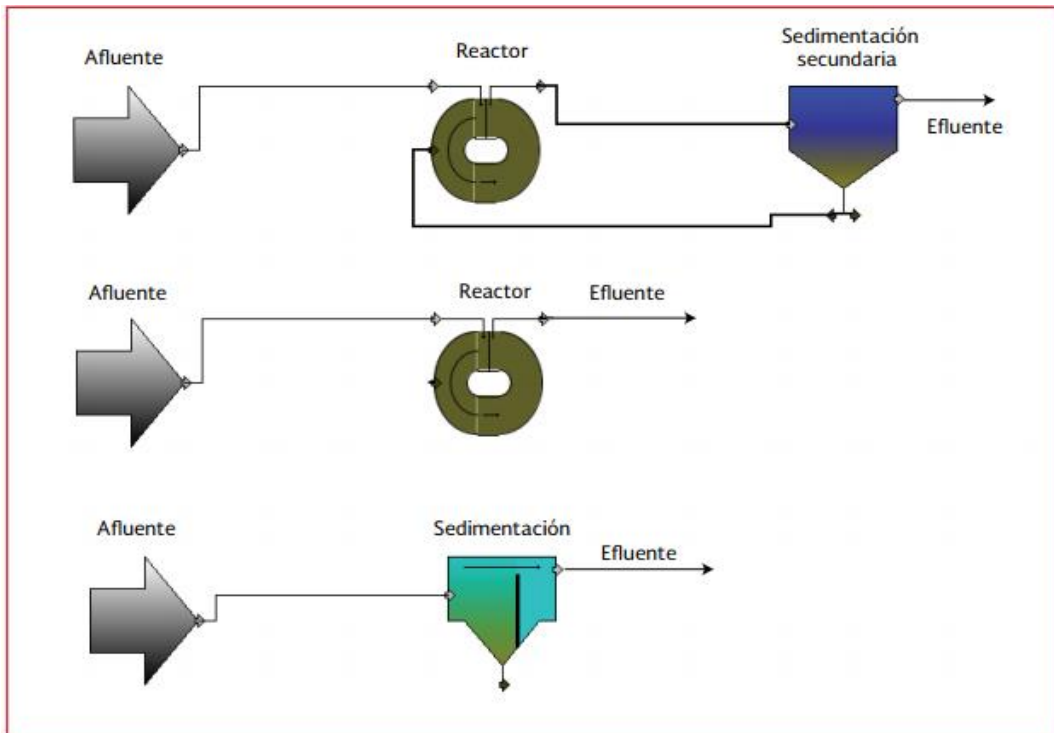


Figura 2.33 Esquema de estabilización aerobia.



### **C. Remoción esperada del proceso**

La remoción esperada del proceso varía de acuerdo a la edad del lodo y sus características. Los porcentajes típicos de remoción de contaminantes son los siguientes:

- Sólidos volátiles: 30 y 70 por ciento (35 y 45 por ciento típico)
- Patógenos: arriba del 85 por ciento

### **D. Otras características**

#### **Impacto ambiental**

El sobrenadante tiene que ser regresado al afluente de la planta, el cual tiene una carga orgánica muy alta. La estabilización de los lodos reduce el impacto adverso de disposición de lodos en terreno. El proceso tiene requerimientos altos de energía. Se puede necesitar el control de olores.

#### **Confiability del proceso**

El proceso es menos sensible a factores ambientales en comparación con el proceso de estabilización anaerobia. Requiere de menos control de laboratorio y mantenimiento diario. Es relativamente resistente a variaciones en la carga, pH e interferencia de metales. A bajas temperaturas, el sistema requiere de mayores tiempos de retención para adquirir un nivel fijo de reducción de sólidos volátiles. Empero, la pérdida del buen funcionamiento no necesariamente causa un producto oloroso. Se puede obtener un lodo más fácil de desaguar si se mantiene un nivel de OD de 1 a 2 mg/L, con tiempos de retención adecuados (con excepción en filtros al vacío).

#### **Limitaciones**

El proceso tiene un costo de operación muy alto (principalmente en el abastecimiento de oxígeno). El tiempo requerido para la estabilización es altamente sensible a la temperatura, y la estabilización aeróbica puede requerir de periodos excesivos en climas fríos, incrementado aún más su costo de operación.

### III. Estabilización anaerobia

Existen dos tipos de sistemas de estabilización anaerobia de lodo:

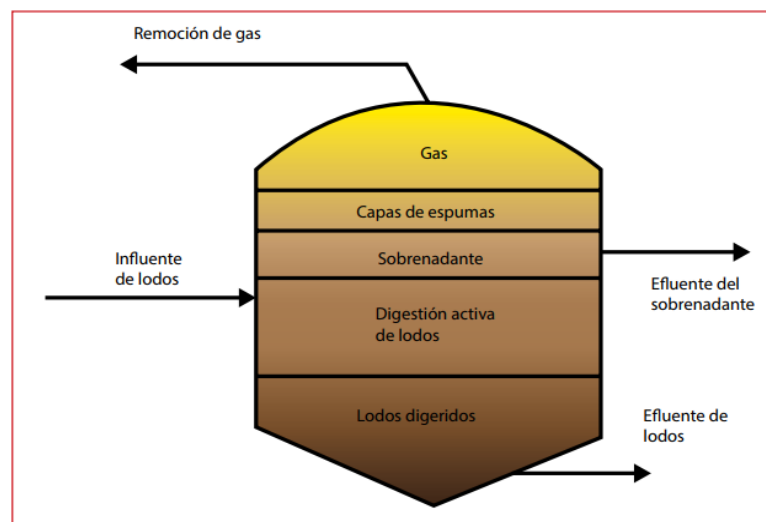
- Estabilización convencional.
- Estabilización de alta tasa.

#### A. Estabilización convencional.

La estabilización convencional se lleva a cabo en procesos de un paso o de dos pasos. El lodo es calentado normalmente dentro del tanque o con intercambiadores de calor localizados fuera de ellos. En el proceso de un solo paso, la estabilización, el espesamiento y la formación de material flotante se llevan a cabo separadamente dentro del tanque. Operacionalmente, el lodo crudo se alimenta en la zona de estabilización activa y el gas producido se remueve de éste por la parte superior. Mientras el gas sube a la superficie, eleva consigo partículas de lodos y otros materiales, tales como grasas y aceites, formando una capa de natas. Como resultado de la estabilización, el lodo se mineraliza (aumentando el porcentaje de lodos fijos), y por gravedad se espesa, lo que causa la formación de una capa de material flotante sobre la zona de estabilización de lodo.

El volumen del tanque se utiliza únicamente a un 50 por ciento debido a la estratificación y falta de mezcla (Figura 2.34). Por lo anterior, la estabilización convencional se lleva a cabo en un proceso de dos pasos.

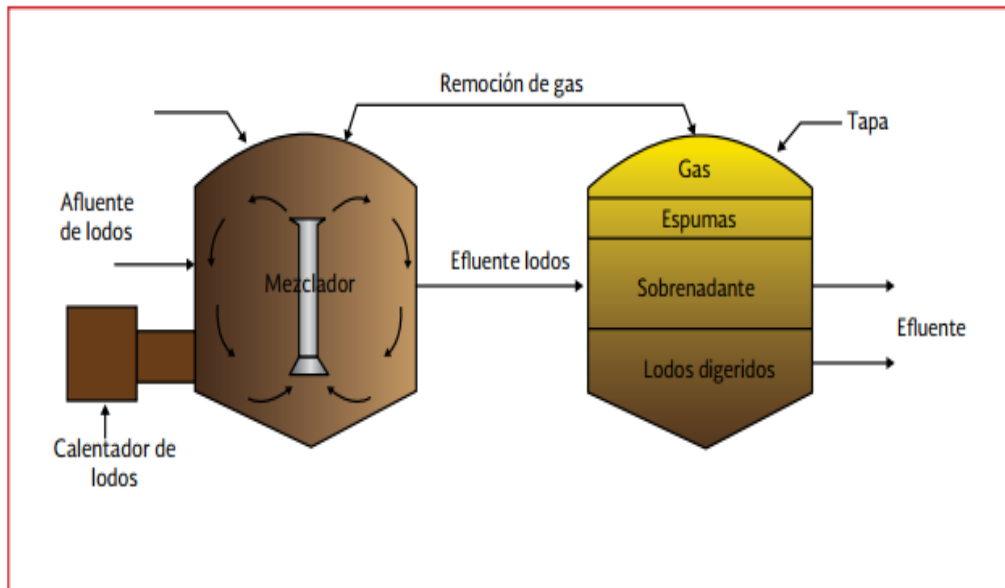
Figura 2.34 Esquema de un digester convencional en un proceso de un solo paso





En el proceso de dos pasos, el primer tanque se usa para la estabilización. Es calentado y equipado con unidades mezcladoras. El segundo tanque se usa para el almacenamiento y concentración del lodo digerido, y en la formación de un sobrenadante relativamente claro. En algunos casos la segunda unidad puede ser un tanque abierto o una laguna de lodos (Figura 2.35).

Figura 2.35 Esquema de un proceso de estabilización en dos pasos.



### B. Estabilización de alta tasa

Ésta difiere del proceso anterior en que la carga de sólidos es mayor. El lodo se mezcla íntimamente por la recirculación del gas, bombeo, o por mezcladores mecánicos, y se calienta para obtener una estabilización óptima. El equipo de mezcla, en este proceso, debe tener mayor capacidad que el proceso anterior, y debe de llegar hasta el fondo del tanque. El tanque es más profundo. El lodo deberá bombearse continuamente o en ciclos de 30 minutos a 2 horas. El lodo digerido tiene una concentración de aproximadamente la mitad de la del afluente ya que no existe una separación del lodo.

### C. Criterios de diseño

En la Cuadro 2.37 se muestran los criterios de diseño para lodos primarios, lodos primarios más filtros rociadores y lodos primarios más lodos activados.

Cuadro 2.37 Criterios de diseño

Criterio volumétrico	m <sup>3</sup> /cápita					
Lodos primarios	0.037 - 0.085					
Lodos primarios + filtro rociador	0.074 - 0.142					
Lodos primarios + activados	0.074 - 0.170					
Tamaño de tanques (m)						
Diámetro	6.1-35.1					
Profundidad	7.6-13.7					
Pendiente del fondo (relación vertical:horizontal):	1:4					
Carga de sólidos en kg/d m <sup>3</sup>	0.64 - 6.41					
Carga volumétrica en m <sup>3</sup> /cap d	1.1e <sup>-3</sup> - 2.8e <sup>-3</sup>					
Carga de sólidos húmedos en kg/cap d	0.05 - .09					
pH unidades	6.7 - 7.6					
El tiempo de retención requerido para los sólidos en el digestor a varias temperaturas para una estabilización mesofílica es el siguiente:						
Temperatura:	°C	10	19	24	29	35
Tiempo de Retención:	d	55	40	30	25	20

#### D. Remoción esperada del proceso

Los porcentajes típicos de remoción de contaminantes son los siguientes:

- Sólidos totales: 33 a 58 por ciento.
- Sólidos volátiles: 35 a 50 por ciento.
- Patógenos: 85 a menos de 100 por ciento.

#### E. Otras características

**Impacto ambiental.** El retorno del sobrenadante al inicio de la planta puede causar situaciones no deseadas en la operación de la planta. Como resultado del proceso se reduce el impacto ambiental de la disposición de los lodos en el terreno.

**Confiabilidad del proceso.** La operación exitosa del proceso depende de una variedad de factores físicos, químicos y biológicos (pH, alcalinidad, temperatura, concentraciones de sustancias tóxicas en el contenido del digestor). Se requiere de un monitoreo cuidadoso del pH, de producción de gas y ácidos volátiles.

#### IV. Estabilización química

La estabilización química de lodos se lleva a cabo con la adición de cal. El añadir cal al lodo en cantidades suficientes para mantener un pH alto estabiliza al lodo y destruye las bacterias patógenas. El lodo estabilizado con cal se deshidrata bastante bien en lechos de arena, sin problemas de olor. La filtración se mejora con el uso de cal. Este producto también se usa antes de la disposición del lodo en el suelo.

La mejor manera de llevar a cabo la mezcla de cal con lodos líquidos es con una mezcladora de aire. La cal hidratada se usa frecuentemente con sales metálicas para mejorar las características de deshidratación del lodo. La cal se usa principalmente para controlar el pH, reducir el olor, como desinfectante y ayuda de filtración. El tratamiento con cal no produce una destrucción orgánica, por lo tanto se debe tener mucho cuidado cuando se practica la disposición de lodos en el suelo. La disposición de lodos con cal en capas gruesas puede causar una situación donde el pH baja a cerca de 7 unidades, después del desecado, causando el crecimiento de organismos y produciendo olores no deseables.

##### A. Eficiencias de diseño.

En la Cuadro 2.38 se presentan las eficiencias de diseño.

Cuadro 2.38 Eficiencias de diseño.

Dosis requeridas de cal para subir el pH en los lodos					
Lodos, % de sólidos	1%	2%	3%	3.50%	4.40%
pH = 11, dosis (mg/L)	1 400	2 500	3 700	6 000	8 200
pH = 12, dosis (mg/L)	2 600	4 300	5 000	9 000	9500
Dosis de cal requeridas para mantener un pH = 11 durante 14 días					
Tipo de lodo			Dosis [lb Ca(OH) <sub>2</sub> /ton]		
Primario			200 – 300		
Séptico			200 – 600		
Biológico			600 – 1 000		
Precipitación de Al (secundario)			800 – 1 200		
Precipitación de Fe (secundario)			700 – 1 200		
Precipitación de Al (primario y secundario)			500 – 800		

## B. Remoción esperada del proceso

En la Cuadro 2.39 se resumen las eficiencias, desde el punto de vista del funcionamiento del proceso, en base a estudios en plantas de tratamiento.

Cuadro 2.39 Eficiencias del proceso.

Eficiencias del tratamiento de lodos con cal en bacterias patógenas			
Tipo de lodo	Bacterias patógenas		
	Organismos/100 mL de muestra		
	Salmonela	Estreptococos fecales	Coliformes fecales
Primario crudo	62	$39 \times 10^7$	$8.3 \times 10^3$
Primario con cal	< 3	$6 \times 10^3$	$5.9 \times 10^3$
Lodos activados	6	$1 \times 10^7$	$2.7 \times 10^7$
Lodos activados con cal	< 3	$6.7 \times 10^3$	$1.6 \times 10^4$
Séptico	6	$6.7 \times 10^5$	$1.5 \times 10^7$
Séptico con cal	< 3	$6.7 \times 10^2$	$2.6 \times 10^2$

## C. Otras características

### Impacto ambiental

El volumen de lodos generados se puede incrementar, sin embargo, la cal puede reducir las bacterias patógenas y los olores del lodo, resultando este más apto para su disposición en el suelo. El mejoramiento de las características de deshidratación del lodo con el uso de la cal puede dar como resultado requerimientos menores de terreno. El pH del lodo resultante es alto.

### Confiabilidad del proceso

Altamente confiable desde el punto de vista del proceso. Sin embargo, se requiere de mayor atención y más limpieza que el promedio para mantener una buena confiabilidad mecánica en la alimentación de la cal.

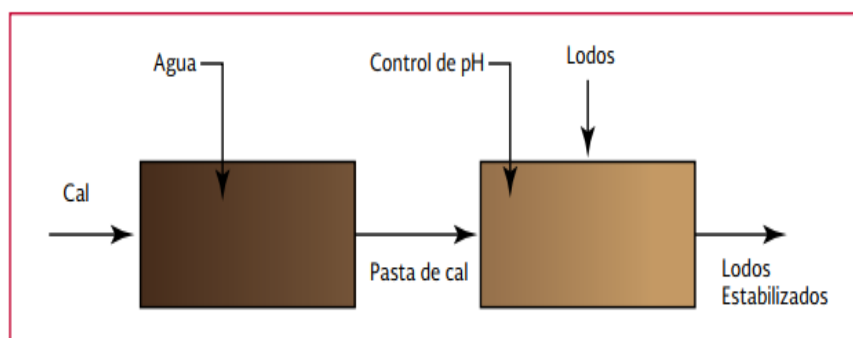
## D. Espesamiento de lodos

El propósito del proceso de espesamiento de lodos es reducir el volumen de los mismos, para posteriormente ser estabilizados, deshidratados, etc. En el proceso, el contenido de sólidos se incrementa removiendo parcialmente el líquido.

El lodo es alimentado al centro del espesador, y los sólidos se sedimentan para ser recolectados en una tolva de lodos. El líquido resultante fluye a través

de un vertedor de salida localizado en la periferia del tanque, y es retornado al tanque de sedimentación primaria. El grado en el que los lodos pueden ser espesados depende de muchos factores, entre los más importantes se encuentran: tipo de lodo a espesar, concentración de sólidos volátiles y concentración inicial de sólidos. Se ha demostrado que se logran resultados óptimos cuando la concentración de sólidos en el afluente se encuentra entre 0.5 y 1.0 por ciento. Con el objeto de prevenir condiciones sépticas y malos olores en el espesador, es deseable mantener un flujo continuo.

Figura 2.36 Diagrama para estabilización química de lodos.



### E. Criterios de diseño

Los espesadores mecánicos se diseñan en base a la carga hidráulica superficial y de sólidos. Los criterios de diseño son los mismos a los usados en el diseño de tanques de sedimentación.

Generalmente, se usan tiempos de retención de uno a tres días, tirantes de agua de por lo menos 3m y tolvas de lodos de 90 centímetros. Las cargas hidráulicas superficiales típicas son de 0.19 a 0.42 L/(s.m<sup>2</sup>). En la Tabla 2.40 se muestran, la carga de sólidos en espesadores y el porcentaje de sólidos en lodos espesados varían de acuerdo al tipo de lodos a espesar, dichos datos.

Cuadro 2.40 Carga de sólidos en espesadores

Tipo de lodo	Porcentaje de sólidos		Carga de sólidos kg/(d m <sup>2</sup> )
	No espesados	Espesados	
<b>Lodos separados:</b>			
Primario	2.5-5.5	08-10	97.7-146.5
Filtros rociadores	04-07	07-09	39.1-48.8
Aireación	02-04	4.3-7.9	34.2-87.9
Activados	0.5-1.2	2.5-3.3	19.5-39.1
<b>Lodos combinados</b>			
Primario + Rociadores	03-06	07-09	48.8-97.7
Primario + Aireación	03-04	8.3-11.6	58.6-97.7
Primario + Activados	2.6-4.8	04-09	29.3-78.1

## **F. Otras características**

### **Impacto ambiental**

Los requerimientos de terreno son relativamente pequeños. El material flotante tiene que ser desechado. Frecuentemente resultan malos olores por las condiciones sépticas del proceso.

### **Confiabilidad del proceso**

Las unidades son mecánicamente muy confiables, pero son altamente afectadas por la calidad de lodos recibidos. Por lo tanto, puede haber situaciones no deseadas en el proceso por cambios radicales en la calidad del agua cruda y de los lodos digeridos.

### **Generación de residuos**

El volumen del material flotante está directamente relacionado con el incremento de la concentración de sólidos en el espesador. El material flotante contiene varias cantidades de sólidos, variando de 10 a cientos de mg/Litros.

### **Limitaciones**

No opera satisfactoriamente con desechos activados, mezcla de lodos primarios, lodos de aluminio y fierro.

### **Eficiencias del proceso**

Ver el porcentaje de sólidos en lodos no espesados y espesados en la Cuadro 2.41 de criterios de diseño.

Tipo de lodo	Porcentaje de sólidos		Carga de sólidos
	No espesados	Espesados	kg/(d m³)
<b>Lodos separados:</b>			
Primario	2.5-5.5	08-10	97.7-146.5
Filtros rociadores	04-07	07-09	39.1-48.8
Aireación	02-04	4.3-7.9	34.2-87.9
Activados	0.5-1.2	2.5-3.3	19.5-39.1
<b>Lodos combinados</b>			
Primario + Rociadores	03-06	07-09	48.8-97.7
Primario + Aireación	03-04	8.3-11.6	58.6-97.7
Primario + Activados	2.6-4.8	04-09	29.3-78.1

Cuadro 2.41 Carga de sólidos en espesadores

## V. Deshidratación mecánica

Los métodos más comúnmente usados para des- hidratar mecánicamente los lodos incluyen la filtración al vacío, centrifugación y filtración a presión. La filtración al vacío es quizás el método más ampliamente usado. Se utiliza para deshidratar lodos con el objeto de producir una masa con las características físicas y el contenido de humedad requeridos en un proceso de lodos subsecuente. La centrifugación es un proceso ampliamente usado en la industria para la separación de líquidos de diferentes densidades y en la remoción de sólidos. Es aplicable en la deshidratación de lodos de aguas residuales y usa la fuerza centrífuga para incrementar la tasa de sedimentación de los sólidos. La filtración a presión ofrece varias ventajas sobre los otros sistemas, tales como una masa de lodos con concentraciones de sólidos mayores, mejor claridad en el filtrado, mejor captura de sólidos y menor consumo de químicos.

### A. Descripción del proceso

#### a. Filtración al vacío

En este proceso se puede producir una masa de lodos deshidratada, de lodos crudos o digeridos. La filtración se lleva a cabo por medio de un tambor horizontal cubierto de un medio filtrante. El medio filtrante puede ser de tela de algodón, lana, nylon, dacrón, o de otros tipos de material, tales como una malla de acero inoxidable.

Aproximadamente la cuarta parte del tambor está sumergido en el lodo húmedo.

Conforme el tambor gira, el vacío aplicado en la parte interna del medio filtrante deshidrata el lodo y mantiene una capa de este en el tambor. Se continúa aplicando el vacío conforme el lodo es desalojado. Esto produce agua adicional, dejando una masa de lodo en el exterior. La capa de lodo es removida del tambor antes de que entre al tanque de nuevo. Es necesario el acondicionamiento químico de los lodos para adquirir un rendimiento satisfactorio. En el acondicionamiento se coagulan las partículas de lodo y se permite que el agua drene libremente. Los productos químicos más comúnmente usados son cloruro férrico, cal o polielectrolitos. La cantidad requerida depende de la concentración de los lodos, el tipo de lodo y la alcalinidad.

#### **b. Centrifugación**

El lodo se alimenta a flujo continuo a un cajón rotatorio, donde se separa una masa densa con sólidos y un líquido diluido. El líquido contiene sólidos finos de baja densidad, y es retornado al afluente del espesador o del sedimentador primario. La masa de lodo, que contiene aproximadamente 75 a 80 por ciento de humedad, es removida de la unidad para su disposición o tratamiento adicional. La concentración de sólidos varía del 15 al 40 por ciento, dependiendo del tipo de lodos. Reducciones menores del 25 por ciento no son, en general, económicamente factibles. El proceso no requiere normalmente de acondicionamiento químico.

#### **c. Filtración a presión**

El lodo acondicionado químicamente se bombea entre dos placas, se aplica presión de aproximadamente 4.21 a 5.62 kg/cm<sup>2</sup> y se mantiene en esas condiciones durante 1 a 3 horas. Esto fuerza al líquido a pasar por un medio filtrante y salir del filtro, las placas se separan y el lodo es removido. El filtrado es normalmente retornado al afluente de la planta.



El espesor de la masa de lodo varía de 2.54 a 3.81 cm, el contenido de humedad varía de 55 a 70 por ciento y el tiempo de filtración de 3 a 8 horas. Estudios extensivos recientes muestran que los filtros prensa pueden operar con un diferencial de presión máximo de 7.03 kg/cm<sup>2</sup> y en algunos casos hasta 15.81 kg/cm<sup>2</sup>, produciendo masas de lodo con concentraciones de sólidos superiores al 50 por ciento. Los productos químicos usados son la cal, cloruro férrico, ceniza muy fina, polímeros de alumbre u otros, dependiendo del tipo y características del lodo.

### B. Criterios de diseño

Los criterios de diseño para el proceso de deshidratación mecánica de lodos dependen de sus características, así como del proceso seleccionado. En la Cuadro 2.42 y Cuadro 2.43 se muestran los criterios de diseño según el proceso.

Cuadro 2.42 Criterios de diseño para filtros al vacío.

Tipo de lodos	kg/(h m <sup>2</sup> )
<b>Rendimiento</b>	
<b>Sólidos frescos</b>	
Lodos primarios	19.5-58.6
Lodos primarios + filtros rociadores	19.5-39.1
Lodos primarios + activados	19.5-24.4
Lodos solamente activados	12.2-17.1
<b>Sólidos digeridos</b>	
Lodos primarios	19.5-39.1
Lodos primarios + filtros rociadores	19.5-24.4
Lodos primarios + activados	19.5-24.4
<b>Carga de sólidos (base seca)</b>	
Lodos primarios	34.2-73.2
Lodos primarios digeridos	19.5-34.2
Lodos mezclados digeridos	17.1-24.4

Cuadro 2.43 Criterios de diseño para filtros a presión.

Parámetro	Valores	Unidades
Volumen de cámara	0.21-0.79	m <sup>3</sup> /cámara
Área de filtro	1.35-4.18	
Número de cámaras	Hasta 100	cm
Espesor de la masa de lodos	2.54-3.81	kg/(ciclo m <sup>2</sup> )
Flujo de lodos de alimentación (base seca)	9.8	

### **C. Centrifugación**

Cada instalación del equipo de centrifugación es específica para cada planta y depende de la línea de productos del fabricante o distribuidor. Existen unidades sólidas con diámetros y capacidades máximas de hasta aproximadamente 100 ton/h de sólidos secos, con requerimientos de energía que llegan a 75 HP. Existen unidades de disco con capacidades de hasta 25 L/s de concentrado.

### **D. Remoción esperada del proceso**

#### **Filtración al vacío**

El ámbito de captura de sólidos es de 85 a 99.5 por ciento y la humedad de la masa es normalmente de 60 a 90 por ciento, dependiendo del tipo de alimentación, concentración de sólidos, acondicionamiento químico, operación y manejo de la unidad. La masa de lodos deshidratada es adecuada para el relleno sanitario, incineración o disposición en el suelo.

#### **Centrifugación**

Recuperación de sólidos en centrífugas de cajón sólido de 50 a 75 por ciento, sin adición de químicos, y de 80 a 95 por ciento con adición de químicos. La concentración de sólidos es de 15 a 40 por ciento, dependiendo del tipo de lodos.

#### **Filtración a presión**

En general, se pueden obtener masas con concentraciones de sólidos de 25 a 50 por ciento. Se han obtenido masas con concentraciones de 45 por ciento con acondicionamiento químico (de 5 a 7.5 por ciento  $\text{FeCl}_3$  y de 10 a 15 por ciento de cal) y ciclos de 1.0 a 2.0 hr. Con acondicionamiento de 100 a 250 por ciento de cenizas muy finas, se han conseguido masas con concentraciones de 50 por ciento en lodos de varios tipos, con contenido de SST de 1 a 10 por ciento.

## **E. Impacto ambiental**

### **Filtración al vacío.**

Requerimientos relativamente altos de químicos y de energía.

### **Centrifugación.**

El líquido producido es relativamente alto en sólidos suspendidos no sedimentables. Si éstos son regresados a las unidades de tratamiento, pueden reducir la calidad del efluente de sistemas de sedimentación primaria. Se puede requerir un sistema de control de ruido.

## **F. Confiabilidad del proceso**

### **Filtración al vacío.**

La adición de dosis elevadas de cal puede causar un requerimiento de lavado frecuente de los medios filtrantes de las unidades. Se requiere de un muy buen conocimiento en la operación de las unidades para mantener un nivel alto de confiabilidad. Se requiere de un monitoreo frecuente para obtener masa de lodos manejables.

### **Centrifugación.**

En unidades tipo disco, la colmatación de los orificios de descarga es un problema si se detiene la alimentación a las centrifugas, o si se reduce por debajo de los valores mínimos.

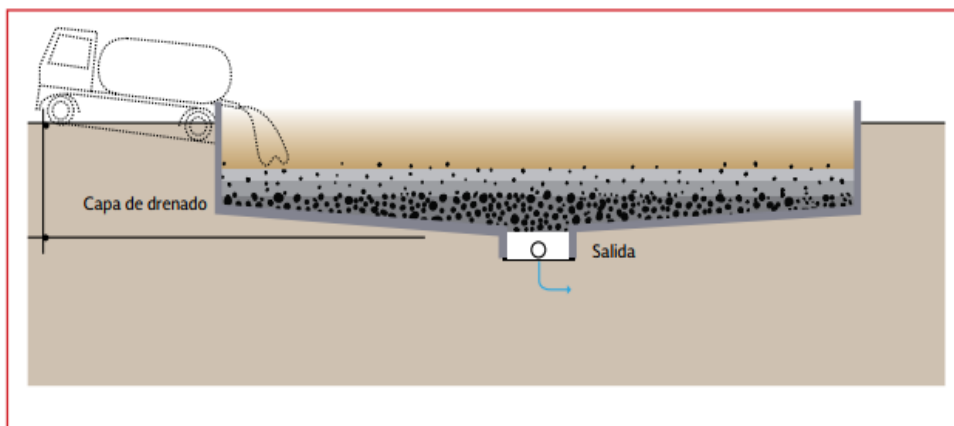
### **Filtración a presión.**

El desgaste de los empaques de las placas es un problema frecuente, lo cual requiere mantenimiento.

## VI. Lechos de secado.

Los lechos de secado se usan para la deshidratación de lodos digeridos. El lodo es colocado sobre los lechos en capas de 20 a 30 cm para su secado. Una vez seco es removido de los lechos y se pone a disposición y así usarse como fertilizante. Los lechos pueden estar abiertos a la intemperie o cubiertos. Los abiertos se usan cuando existe un área adecuada para evitar problemas ocasionales causados por los malos olores. Los lechos cubiertos con techumbre tipo invernadero son más convenientes donde es necesario deshidratar lodo continuamente durante el año sin importar el clima, y donde no existe el aislamiento suficiente para la instalación de lechos abiertos. El área total de secado es repartida en lechos individuales de aproximadamente 6.1 m de ancho por 6.1 a 30.5 m de largo. Los lechos generalmente consisten de 10 a 23 cm de arena sobre una capa de grava o piedra de 20 a 45.7 cm de espesor. La arena tiene un tamaño efectivo típico de 0.3 a 1.2 mm y un coeficiente de uniformidad menor a 5.0. La grava normalmente se gradúa de 0.32 cm a 2.54 centímetros. Los lechos son desaguados por drenes localizados en la grava con espaciamientos de aproximadamente 1.8 a 6.1 metros. La tubería de los drenes tiene un diámetro mínimo de 10 cm y una pendiente mínima, de aproximadamente uno por ciento. Las paredes de los lechos pueden ser de concreto, madera o tierra, y tienen normalmente una altura de 30.5 centímetros. El lodo puede fluir hasta 30.5 m, si la pendiente del lecho es de aproximadamente 0.5 por ciento.

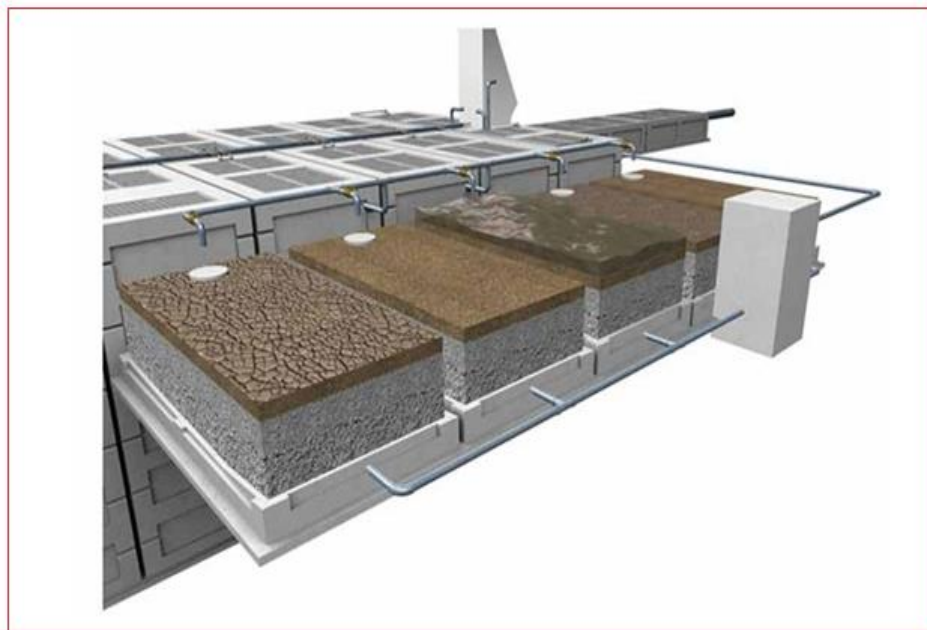
Figura 2.37 Lecho de secado.



### **A. Descripción del proceso.**

La deshidratación de lodos en lechos de secado ocurre por filtración del agua a través del medio filtrante, y por evaporación del agua de la superficie del lodo. La filtración se lleva generalmente a cabo en 1 o 2 días. Esto depende en las características del lodo y la profundidad a la cual es puesto en los lechos. Después de que casi toda el agua haya sido filtrada y evaporada, el lodo se queda con un contenido de humedad en equilibrio con el aire. El contenido de humedad final depende de la temperatura y la humedad relativa de ésta. El agua drenada puede ser recirculada al afluente de los tanques de sedimentación primaria. Una vez que el lodo haya sido lo suficientemente deshidratado se remueve de los lechos, manual o mecánicamente. Los lodos con 20 a 30 por ciento de sólidos se pueden remover mecánicamente, mientras lodos con 30 a 40 por ciento de sólidos requieren ser manejados manualmente.

Figura 2.38 Lecho de secado



## B. Criterios de diseño

Las tuberías de lodos en los lechos son generalmente de hierro fundido y se diseñan para una velocidad mínima de 0.76 m/segundo. Deben ser diseñadas de tal forma que se puedan lavar, y que no se congelen en climas fríos.

Los lechos deben de contar con placas para recibir el lodo y distribuirlo sobre los lechos, además de prevenir la erosión de la arena. La carga de lodos se calcula en base a los habitantes, o en base a una carga unitaria de sólidos secos por área en un año. En la Cuadro 2.44 se presentan los criterios típicos de diseño en varios tipos de lodos.

Cuadro 2.44 Criterios típicos de diseño, para varios tipos de lodos.

Concepto	Lechos abiertos	Lechos cerrados	Unidades
Área requerida para lodos primarios digeridos	0.09-0.14	0.07-0.09	m <sup>2</sup> /capita
Área requerida para lodos primarios y activados	0.16-0.23	0.12-0.14	m <sup>2</sup> /capita
Área requerida para lodos precipitados con aluminio o hierro	0.19-0.23	0.12-0.14	m <sup>2</sup> /capita
Carga de sólidos	48.8-136.7	58.6-195.3	kg/(m <sup>2</sup> año)

## C. Remoción esperada del proceso

Una masa de lodos con 40 a 45 por ciento de sólidos se puede obtener en dos a seis semanas con un buen clima y un lodo bien digerido; lodo primario o lodo mezclado.

El tiempo de deshidratación puede ser reducido a un 50 por ciento, si se cuenta con un acondicionamiento químico. Se puede lograr de un 80 a 90 por ciento de contenido de sólidos en lechos de arena, pero normalmente los tiempos requeridos son imprácticos.

## D. Otras características

### Impacto ambiental

Un lodo pobremente digerido puede causar problemas de olores. Los requerimientos de terreno son grandes.

## Limitaciones

El proceso normalmente se restringe para lodos bien digeridos o bien estabilizados, ya que el lodo pobremente digerido o crudo es oloroso, atrae insectos y no se deshidrata satisfactoriamente. Las grasas y aceites colmatan las camas de arena, y esto retarda seriamente el drenado. El diseño de los lechos se afecta por las condiciones del clima, las características del lodo, el costo y disponibilidad del terreno y su proximidad a los poblados. La operación del sistema se restringe severamente durante períodos prolongados de congelamiento y lluvia.

La Ecuación se puede utilizar para el cálculo del tiempo de secado, considerando evaporación, precipitación, contenido de sólidos, etc.

$$t = \frac{(30HS_0)}{(aE + bR)} \frac{1}{S1} - \frac{1}{S2} + td$$

$$AS = 1.078 \frac{Q_s t}{H}$$

Donde,

- t = Tiempo total de secado (d)
- H = Profundidad del lecho (centímetros)
- So = Porcentaje de sólidos en el afluente (%)
- a = Factor de corrección de evaporación = 0.75
- E = Evaporación del agua (centímetros /mes)
- b = Factor de absorción de agua por el lodo = 0.57
- R = Precipitación del mes lluvioso (centímetros/mes)
- td = Tiempo de duración del drenado (d)
- S1 = Porcentaje de sólidos después de td días (%)
- S2 = Contenido de sólidos en el efluente (%)
- AS = Área superficial requerida (m<sup>2</sup>)
- QS = Flujo de lodos (L/d).

## VII. Composteo de lodos.

El composteo de lodos puede ser definido como la descomposición biológica de sólidos orgánicos a un producto final relativamente estable (abono).

El contenido de humedad es normalmente de 40 a 70 por ciento. La descomposición aeróbica tiene lugar en el rango termofílico, arriba de 45° C y, generalmente, hasta 60° Celsius.

Las temperaturas pico se aproximan a los 90°C.

El proceso es de oxidación y termogénico. Los principales productos de la descomposición son humus, dióxido de carbono y agua. Aunque cada técnica de composteo de lodos es única, el proceso fundamental es similar.

El proceso es el siguiente:

- Al lodo se le añade, si se requieren, agentes de abultamiento (tierra, aserrín o virutas de madera, abono no utilizado o de recirculación) en el control de la porosidad y la humedad.
- Se logra una temperatura en el rango de 55°C a 65°C para asegurar la destrucción de organismos patógenos y prevenir la evaporación, lo que reduce el contenido de humedad.
- El abono es almacenado por períodos extensos de tiempo después de la operación primaria de composteo, y así estabilizar aún más la mezcla a temperaturas menores.
- Si el abono es muy húmedo después del curado, puede requerirse de un secado adicional con aire para el proceso posterior.
- Si se reusan los agentes de abultamiento, se requerirá de una operación por separado.

El composteo representa una actividad combinada de poblaciones mezcladas de bacterias, actinomicetos y hongos asociados con el medio ambiente. Los principales factores que afectan el proceso de composteo son la humedad, temperatura, pH, concentración de nutrientes, disponibilidad y concentración de suministro de oxígeno. El proceso se lleva a cabo en montículos, en pilas o hileras en la superficie de terreno a la intemperie.



### **A. Composteo de lodos en montículos en hileras.**

Los pasos secuenciales involucrados en este proceso son la preparación, composteo, curado y terminado del producto.

#### **Preparación.**

El lodo deberá tener por lo menos una estructura mínima porosa y un contenido de humedad de 45 a 65 por ciento. Por lo tanto, una masa de lodos, normalmente con un contenido de sólidos de 20 por ciento, no puede ser procesada por sí sola y deberá combinarse con un agente de abultamiento. El lodo es así preparado y puesto en montículos.

#### **Composteo.**

El período de composteo se caracteriza por una descomposición rápida. Se suministra aire periódicamente. La reacción es exotérmica, y el lodo alcanza temperaturas de 60° C a 71° C o mayores. La muerte de organismos patógenos, inactivación de larvas de insectos y semillas, es posible a estas temperaturas. El período de estabilización es regularmente de seis semanas.

#### **Curado.**

Se caracteriza por la disminución de la tasa de descomposición, temperatura baja al ambiente y que el proceso se concluye. El período de esta etapa es de aproximadamente dos semanas.

#### **Terminado.**

Si se han incluido fracciones de sólidos municipales, conteniendo residuos no digeribles, o si el agente de abultamiento ha de ser separado y recirculado, se necesita de un proceso de remoción o cribado. El abono puede ser pulverizado, si se desea.

### **B. Composteo de lodos en montículos en pilas.**

Los lodos de aguas residuales pueden ser convertidos en abono, en aproximadamente ocho semanas, con este proceso que incluye cuatro pasos:

### **Preparación.**

El lodo se tratará de igual manera que en el proceso anterior, se construyen las pilas de la mezcla sobre tubería porosa, por la cual el aire es inyectado. Las pilas se cubren para aislarlas.

### **Estabilización.**

Las pilas aireadas pasan por un período de descomposición por organismos termofílicos, cuya actividad eleva la temperatura a 60°C o mayor.

Las condiciones de composteo aeróbicas se mantienen inyectando aire a una tasa predeterminada. El flujo de aire del efluente es conducido a unos pequeños montículos de abono curado y cribado, donde los gases olorosos son absorbidos efectivamente. Después de aproximadamente 21 días, la tasa de descomposición y la temperatura disminuyen, se remueve la tapa y la mezcla resultante es secada o curada, dependiendo de las condiciones ambientales. Curado. El abono se almacena por aproximadamente 30 días para asegurar que se pierda todo olor ofensivo y completar la estabilización. Así queda listo el abono para su utilización.

### **C. Criterios de diseño.**

El criterio básico para lograr un composteo exitoso consiste en que el material a procesar sea poroso, de estructura estable y con un contenido suficiente de material degradable, y así la reacción de degradado se mantenga. Otro criterio de diseño, igualmente importante, es la flexibilidad. Se debe de prever una operación continua del sistema, aunque se presenten cambios en el contenido de sólidos en el lodo y de volúmenes, y cambios en el suministro del agente de abultamiento.

Cuadro 2.45 Criterios de diseño para el composteo de lodos en hileras.

Concepto	Dimensión	Unidades
Requerimiento de terreno (equivalente a una población de 10 000 con tratamiento primario y secundario)	1.335	m <sup>2</sup> /ton seca d
Altura	1.22 a 2.44	m
Base (ancho)	3.66 a 7.63	m
Largo	Variable	
Contenido de humedad	45 a 65	%
Relación carbono/nitrógeno	30 a 35 : 1	
Relación carbono/fósforo	75 a 150 : 1	
Flujo de aire	10 a 30	m <sup>3</sup> /(d kg de SV)
Tiempo de retención	6 a 48	semanas

#### **D. Remoción esperada del proceso.**

El lodo se estabiliza generalmente después de 21 días a temperaturas elevadas. Durante los primeros 3 o 4 días se producen temperaturas de 60 a 80° C, período durante el cual se eliminan olores, patógenos y semillas. Temperaturas por arriba de 55° C por períodos largos pueden destruir efectivamente patógenos. El producto final es un material con apariencia de humus, libre de malos olores y útil como acondicionador de suelos, que contiene niveles bajos de macronutrientes esenciales para plantas, tales como nitrógeno y fósforo, y frecuentemente niveles adecuados de micronutrientes, como zinc y cobre. En las hileras el lodo es convertido a un residuo orgánico, reducido en volumen en un 20 a 50 por ciento.

#### **E. Otras características.**

##### **Impacto ambiental.**

El proceso tiene requerimientos altos de terreno. Con potencial de olores, puede ser estéticamente indeseable. El producto final representa un beneficio al ambiente cuando se usa para acondicionador de suelos.

##### **Confiablez del proceso.**

Altamente confiable. Las temperaturas ambiente y lluvias moderadas no afectan al proceso.

Figura 2.37 Montículos en pilas para el composteo de lodos.



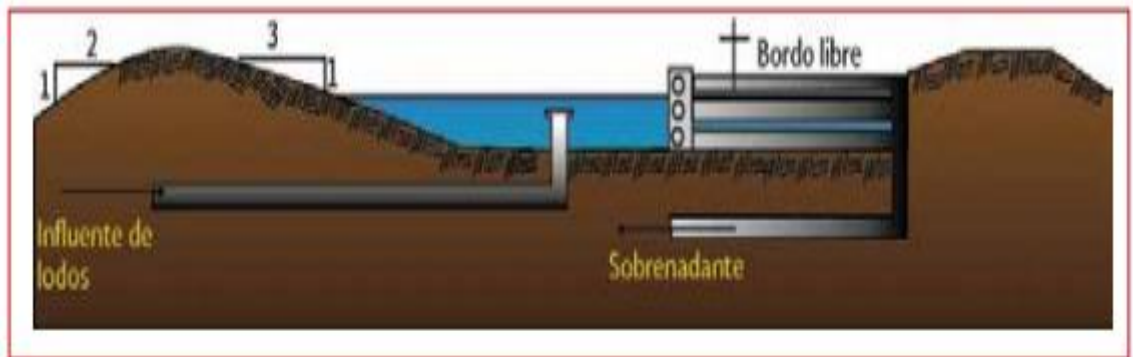
### VIII. Disposición de lodos en lagunas.

La disposición de lodos en lagunas es un método simple, de costo relativamente bajo (cuando se dispone de terreno suficiente y económico) y con requerimientos mínimos de operación y mantenimiento, especialmente en plantas de tratamiento pequeñas. Una laguna es un estanque de tierra, en el cual se deposita el lodo crudo o digerido. Las lagunas de lodos crudos estabilizan los sólidos orgánicos por descomposición anaerobia y aeróbica, lo cual puede causar olores indeseables y problemáticos. Los sólidos estabilizados se sedimentan en el fondo de la laguna y se acumulan. El exceso de líquido, si llega a existir, se retorna a la planta de tratamiento. Las lagunas deberán ser relativamente poco profundas, de 1.22 a 1.53 m, si han de ser limpiadas con raspas.

Si las lagunas son llenadas con lodos digeridos, estas se diseñan con tiempos largos de secado, por medio del proceso físico de percolación y, principalmente de evaporación. El proceso es relativamente simple, y

requiere de remociones periódicas del sobrenadante, el cual es re- tornado al afluente de la planta de tratamiento, y de excavaciones ocasionales del lodo seco para su transporte al sitio de disposición final. El sobrenadante bajo en sólidos suspendidos, es de mejor calidad que el sobrenadante de digestores secundarios, e inclusive que el de espesadores. El producto final sirve como acondicionador de suelos o para relleno de terrenos. El tiempo de secado para lodos con 30 por ciento de sólidos es generalmente muy largo, puede llegar a requerir años. La eficiencia de las lagunas depende de las condiciones climatológicas y del tratamiento previo de los lodos. En climas cálidos y secos, los lodos bien digeridos son económica y satisfactoriamente tratados en lagunas por su simplicidad en la operación y su flexibilidad. Los lodos bien digeridos minimizan el potencial de problemas de olor, los cuales son inherentes en este tipo de sistemas. Se requiere de celdas múltiples para una operación eficiente.

Figura 2.38 Esquema de disposición de lodos en lagunas



#### A. Criterios de diseño

- Bordos: pendientes de 1:2 en el exterior y de 1:3 en el interior con el fin de permitir el mantenimiento y evitar la erosión. Ancho de la superficie lo suficientemente grande para permitir la circulación de vehículos durante la limpieza.
- Profundidad: 0.46 a 1.22 m de profundidad de lodos (depende del clima).
- Celdas: se requiere un mínimo de dos celdas por laguna.

- Cargas: 35.2 a 38.4 kg/ (año m<sup>3</sup>) de capacidad; 8.3 a 16 kg/m<sup>2</sup> de superficie por 30 días de uso; 0.09 a 0.37 m<sup>2</sup> per cápita (depende del clima).
- Decantación: nivel de decantación individual o múltiple por retornos periódicos de sobrenadante a la planta de tratamiento.
- Remoción de lodos: intervalos de aproximadamente 1.5 a 3 años.

## **B. Otras características.**

### **Impacto ambiental**

Pueden producirse fuertes olores, a menos de que exista una apropiada estabilización y una operación adecuada. Requerimientos altos de terreno. El potencial de contaminación del agua subterránea es alto, a menos que se incorporen apropiadamente al diseño las características exactas del subsuelo.

### **Confiabilidad del proceso**

La confiabilidad del proceso está en función de la seguridad en el proceso aguas arriba (estabilización).

### **Limitaciones**

Existe un potencial muy alto de problemas de olor y de proliferación de insectos y roedores si el lado dispuesto no está bien digerido. El control químico de olores no es satisfactorio completamente.

Ecuaciones para el dimensionamiento de lagunas:

#### ***Sólidos Secos Producidos***

$$SSP = \frac{Q_s S_o (8.34) 365}{100}$$

Donde:

SSP = Sólidos secos producidos (Lb/año).

So = Contenido de sólidos en el afluente (%).

8.34 = Factor de conversión de gal/lb a L/kg

365 = Conversión (d/año).

### Volumen de las Lagunas

$$V = \frac{SSP}{CS}$$

Donde:

V = Volumen requerido (m<sup>3</sup>).

SSP = Sólidos secos producidos (kg/año).

CS = Carga de sólidos (kg/año m<sup>3</sup>).

### Área Superficial

$$AS = \frac{V}{D}$$

Donde:

AS = Área superficial (m<sup>2</sup>).

V = Volumen requerido (m<sup>3</sup>).

D = Profundidad de la laguna (m).

## IX. Disposición de lodos en el suelo.

No todos los tipos de lodos son apropiados para disponerlos en suelos, a causa de problemas potenciales de olores y de operación. Los lodos más apropiados para realizar la disposición en el suelo son aquellos que han pasado por un proceso de estabilización y de deshidratación o incineración, lodos con contenido de sólidos igual o mayor a 15 por ciento. Obviamente, la adición de tierra a lodos, con contenido de sólidos menor a 15 por ciento, puede producir un lodo apropiado para su disposición en el suelo. En general, se recomienda que sólo los lodos estabilizados sean dispuestos en el suelo. Existen dos alternativas para realizar la disposición de lodos en el suelo: relleno de terrenos (en capas y en montones) y de zanjas (zanjas angostas y anchas).

### A. Disposición de lodos en zanjas.

En este método se requiere de una excavación de tal forma que el lodo quede por debajo de la superficie del terreno original. Se requiere que el nivel

Freático esté lo suficientemente profundo, con el fin de permitir la excavación y que quede una capa de subsuelo suficientemente ancha para evitar la contaminación del agua subterránea. El suelo se usa solamente como cubierta del lodo y no como un agente de abultamiento.

Normalmente se aplica una capa de suelo sobre el lodo el mismo día que este es recibido, por esta razón las zanjas son más apropiadas que otros métodos para lodos no estabilizados o de baja estabilización. Existen dos tipos de zanjas. Estas incluyen zanjas angostas, con anchos menores a 3.0 m y zanjas anchas, con anchos mayores a 3.0 metros. La profundidad y el largo de ambas zanjas son variables y dependen del nivel freático, estabilidad de las paredes y limitaciones del equipo. Después de que haya ocurrido el asentamiento máximo, aproximadamente un año, el área deberá ser renivelada para asegurar un drenaje adecuado.

### **B. Disposición de lodos en terrenos**

El lodo es dispuesto normalmente sobre la superficie original del suelo. Debido a que no se requiere excavación, y debido a que el lodo no se coloca por debajo de la superficie original del terreno, este método es particularmente útil en áreas donde el nivel del agua subterránea no es profundo. El contenido de sólidos del lodo no está necesariamente limitado, pero la estabilidad y la capacidad de resistencia del terreno deberán ser las adecuadas. Para obtener estas características, el lodo es comúnmente mezclado con tierra como un agente de abultamiento. Por la posible cercanía del agua subterránea, comúnmente se requiere de un recubrimiento del terreno. Existen tres métodos de la aplicación de relleno de terrenos: relleno en capas, relleno en montones y envase de diques o bordos.

En el caso de relleno en montones, la mezcla de tierra y lodo es puesta en montones de aproximadamente 1.8 m de alto. Posteriormente se aplica una cubierta con un espesor mínimo de 0.9 m, si se aplican montones adicionales al primero, la cubierta deberá ser de 1.5 m de espesor.

En el caso de relleno en capas, el lodo puede tener un contenido de sólidos tan bajo como del 15 por ciento.



Después de hacer la mezcla de lodo y tierra, esta se aplica uniformemente sobre el terreno en capas de 0.15 a 0.9 m de espesor.

Las cubiertas intermedias entre capas deben ser de 0.15 a 0.3 m de espesor. La cubierta final deberá ser de 0.6 a 1.2 metros. En el método de envase de diques o bordos, el lodo es puesto totalmente por arriba de la superficie original del terreno. Se construyen diques de cuatro lados sobre el terreno nivelado formando un área de envase, posteriormente éste se rellena. Se pueden aplicar cubiertas en ciertos lugares durante el relleno, la cubierta final deberá ser puesta cuando sea terminado.

### **C. Aplicaciones del proceso.**

#### **Disposición de lodos en zanjas.**

Método de disposición de lodos relativamente simple, adecuado para lodos estabilizados y no estabilizados.

No requiere de experiencia o conocimiento del sistema, con excepción del conocimiento en la operación del equipo para el manejo de los lodos.

El sistema de zanjas angostas es particularmente adecuado para comunidades pequeñas.

#### **Disposición de lodos en terrenos.**

Método adecuado para áreas con el nivel del agua subterránea superficial. Las pilas son adecuadas para lodos estabilizados, pero tiene requerimientos altos de mano de obra y equipo.

El método de disposición de lodos en capas es igualmente adecuado para lodos estabilizados, y tiene requerimientos menores de mano de obra y equipo.

El sistema de envase de diques o bordas es adecuado para lodos estabilizados o no estabilizados, y requiere de menos tierra como agente de abultamiento.

#### D. Criterios de diseño.

En la Cuadro 2.46 se presentan las condiciones que deben cumplir el terreno y los lodos, así como criterios de diseño.

Cuadro 2.46 Condiciones que debe cumplir el terreno.

Disposición de lodos en zanjas			
Criterio de diseño	Zanja angosta < 3.0 m	Zanja ancha > 3.0 m	
Contenido de sólidos	15 a 20% para anchos de 0.6 a 0.9 m 20 a 28% para anchos de 0.9 a 3 m	20 a 28% para equipo en el suelo más del 28% para equipo sobre el lodo	
Pendiente de terreno	Menor a 20 %		Menor a 10 %
Espesor de la cubierta de tierra	0.6 a 0.9 m para anchos de 0.6 a 0.9 m 0.9 a 1.2 m para anchos de 0.9 a 3 m	0.9 a 1.2 m para equipo en el suelo 1.2-1.5 m para equipo sobre lodo	
Tasa de aplicación	2 300-10 00 m <sup>3</sup> /ha		6 000-27 400 m <sup>3</sup> /ha
Disposición de lodos en terreno			
Criterio de diseño	Pilas	Capas	Envase de diques o bordos
Contenido de sólidos	> 20%	> 15%	20-28% para equipo en el suelo; > 28% para equipo en lodo
Características del lodo	Estabilizado	Estabilizado	Estabilizado o no
Pendiente de terreno	Sin limitaciones	Terreno nivelado bien preparado	Terreno nivelado o terraza acantilada bien preparada
Abultamiento requerido	Sí	Sí	Ocasionalmente
Relación tierra : lodo	0.5-2 : 1	0.25-1 : 1	0-0.5 : 1
Tasa de aplicación	5 700 - 26 400 m <sup>3</sup> /ha	3 800-10 000 m <sup>3</sup> /ha	5 700-26 400 m <sup>3</sup> /ha

#### E. Impacto ambiental.

Problemas potenciales de erosión del terreno y de olores. Producción continúa de gas después de muchos años de que el relleno esté completo. La percolación debe de ser apropiadamente controlada para prevenir la contaminación del agua subterránea. El gas es explosivo y puede matar la vegetación si no se controla adecuadamente. Las zanjas angostas y el relleno en capas son métodos más intensivos que los otros.

#### F. Otras características.

##### Confiabilidad del proceso.

Método de disposición de lodos muy confiable.

**Consumo de Energía.**

El consumo de energía varía considerablemente con las características específicas del lodo, las condiciones particulares del terreno y la operación.

**Limitaciones**

El congelamiento del suelo y la lluvia causan dificultades en la operación del sistema. La lluvia hace que las pilas se asienten.

## **2.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ESTUDIO.**

### **2.7.1. VENTAJAS.**

- El estado actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cortijo y Covicorti.
- Encontrar las deficiencias de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cortijo y Covicorti.
- Comparar la tecnología, el rendimiento, diseño y mantenimiento de la planta de tratamiento de Nuevo Laredo con las plantas de tratamiento de Covicorti y el Cortijo.
- Aportar para mejorar el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Trujillo.
- El agua tratada de las plantas de tratamiento de Covicorti y el Cortijo sea reutilizada.

### **2.7.2. DESVENTAJAS.**

- El estudio no sea aprovechado para mejorar o cambiar las plantas de tratamiento de Trujillo.
- El espacio de las plantas de covicorti y cortijo no sea suficientes para la tecnología nueva.
- La tecnología y mantenimiento de la planta de tratamiento de Nuevo Laredo sus costos sean muy elevados.

## 2.8. PLANTA DE TRATAMIENTO MÁS ÓPTIMA EN LA CIUDAD DE TRUJILLO.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) - TRUJILLO - PERÚ						
PTAR DE LA CIUDAD DE TRUJILLO - PERÚ						
			COVICORTI			ANALISIS
PARAMETROS	UNIDAD	DATOS NORMA (Imp)	CRUDO	TRATADO	EFICIENCIA	
ACEITES Y GRASAS	mg/lit	20	98	18	82%	El rendimiento de la PTAR ha sido bajo, desde su puesta en marcha, debido a falla de diseño. Durante su periodo de trabajo, no ha superado el 50% de rendimiento y actualmente opera con 42%.
COLIF TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml (Mlls)	0.01	300	3.5	98.80%	
DBO	mg/lit	100	350	30	91%	
DQO	mg/lit	200	900	180	80%	
<i>PH</i>		6.5 a 8.5	7.6	8	OK	
SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES	mg/lit	150	450	220	51%	
<i>TEMPERATURA AGUA</i>	°C	<35°C	25	22	OK	
PTAR DE LA CIUDAD DE TRUJILLO - PERÚ						
			EL CORTIJO			ANALISIS
PARAMETROS	UNIDAD	DATOS NORMA (Imp)	CRUDO	TRATADO	EFICIENCIA	
ACEITES Y GRASAS	mg/lit	20	87	12	86%	El rendimiento de la PTAR ha sido desde su puesta en marcha, de bajo rendimiento, debido a falla de diseño. Durante su periodo de diseño, no ha superado el 50% de rendimiento de carga de caudal y actualmente opera con 24%.
COLIF TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml (Mlls)	0.01	300	3	99.0%	
DBO	mg/lit	100	400	30	93%	
DQO	mg/lit	200	1100	110	90.0%	
<i>PH</i>		6.5 a 8.5	7.5	7.5	OK	
SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES	mg/lit	150	500	220	56%	
<i>TEMPERATURA AGUA</i>	°C	<35°C	25	24	OK	

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) - NUEVO LAREDO- MÉXICO**

			<b>PTAR DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO TAMAULIPAS MEXICO</b>		
			<b>NUEVO LAREDO</b>		<b>ANALISIS</b>
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DATOS NORMA (Imp)</b>	<b>CRUDO</b>	<b>TRATADO</b>	
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	<b>mg/lit</b>	<b>20</b>		8.26	OK
<b>COLIF TERMOTOLERANTES</b>	<b>NMP/100 ml (Mlls)</b>	<b>0.01</b>			
<b>DBO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>30 dias 20</b>		3.89	OK
<b>DQO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>200</b>			
<b>PH</b>		<b>6.5 a 9</b>		7.36	OK
<b>SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES</b>	<b>mg/lit</b>	<b>30 dias 20</b>		6.75	OK
<b>TEMPERATURA AGUA</b>	<b>°C</b>	<b>&lt;35°C</b>			
<b>OXIGENOS DISUELTO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>&lt;2</b>		8.26	OK

La PITARNL se considera una planta eficiente ya que cumple con la remoción de contaminantes del agua. La PITARNL supera todos los parámetros que debe cumplir, firmados por la CILA en el acta 279. La superación de las normas se atribuye principalmente a tres factores, la supervisión de la CILA, la construcción y buen diseño de la planta, así como el óptimo manejo de administración en su operación y mantenimiento.

## 2.9. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- a. Afluente: Líquido que llega a una unidad o lugar determinado, por ejemplo el agua que llega a una laguna de estabilización.
- b. Aguas servidas: Todas las aguas de alcantarilla, ya sean de origen domésticos (aguas de las casas habitaciones, edificios comerciales, etc.) o industrial, una vez que han sido utilizadas por el hombre.
- c. Caudal: Volumen de agua que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en lt/seg o m<sup>3</sup>/seg.
- d. CILA: Comisión Internacional de Límites y Aguas Sección México-Estados Unidos.
- e. Cloración: Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.
- f. Comapa: Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Nuevo Laredo.
- g. CUA: Ciclo Urbano del Agua.
- h. Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O): Cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la sustancia orgánica, en un tiempo y a una temperatura específica. Depende enteramente de la disponibilidad de materia utilizable como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación.
- i. Eficiencia: Relación entre la capacidad real y la teórica total de una unidad o equipo. Usualmente se expresa en %.
- j. Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- k. Emisario submarino: Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pretratadas en el mar.
- l. GIE: Gases de Efecto Invernadero.
- m. Infiltración: Efecto de penetración o infiltración del agua en el suelo.
- n. PITARNL: Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales de Nuevo Laredo.
- o. pH: Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

## **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIAL**

#### **3.1.1. Población**

Distrito de Trujillo – Provincia de Trujillo – La Libertad.

#### **3.1.2. Muestra**

Localidad de Trujillo, actualmente hay un total 7 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, de las cuales se estudiarán 2 Plantas de Tratamiento. La última población conocida es  $\approx 799600$  - (Año 2015). Si la tasa de crecimiento de la población sería igual que en el periodo 2012-2015 (+1.46%/Año), Trujillo la población en 2017 sería: **823 091 personas.**

#### **3.1.3. Unidad de Análisis**

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Covicorti y El Cortijo ubicada en la localidad de Trujillo, Distrito de Trujillo – Trujillo – La Libertad año 2017.

### **3.2. MÉTODOS**

#### **3.2.1. Nivel de Investigación**

Descriptiva.

De acuerdo con el contexto a estudiar, el nivel de investigación es descriptiva, el cual se incorpora el tipo de investigación denominado cuantitativo, explicativo y aplicativo el cual consiste en describir situaciones y eventos, decir cómo es y cómo se manifiesta determinado fenómeno.

El método más adecuado para la investigación es el descriptivo, y se determinará mediante la recaudación de datos de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Cortijo y Covicorti haciendo un análisis



comparativo con la planta de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas – México.

Según Hernández, Fernández, & Baptista (2003, p. 80) “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. El nivel de investigación es descriptiva ya que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación del objeto a estudiar, tales como aspectos detallados del ámbito donde se hará el dimensionamiento de dos tipos de tanque para el tratamiento de aguas residuales, cálculo del caudal de diseño, pruebas, interpretación y determinación del estado que se encuentra la parte física de lo ya existente en el lugar de estudio.

### **3.2.2. Diseño de Investigación**

#### **De Campo.**

La investigación a ser aplicada es de campo. Se basará en la obtención de datos provenientes directamente del ámbito de estudio, por lo tanto será exploratoria en la zona de estudio, descriptiva de las características que muestra, interpretativa para poder canalizar las opciones de solución del problema, explicativa para demostrar la factibilidad de cada una de las opciones de solución y evaluativa para poder elegir la mejor opción.

De la misma manera va a ser comparativo simple de las alternativas constructivas propuestas.

### 3.2.3. Variables de estudio y operacionalización

#### 3.2.3.1. Variables y definición operacional

- Variable Independiente:  
(V1): Sistema tratamiento de Plantas Tratamiento de Aguas Residuales. (PTAR)
- Variable Dependiente:  
(V2): Análisis comparativo del sistema de tratamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de Covicorti y el Cortijo (Ciudad de Trujillo) ante sistema el sistema de Tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas – México.

#### 3.2.3.2. Operacionalización

##### ➤ Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	UNIDADES DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
Tratamiento de Aguas Residuales	Consiste una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.	Población	Hab.	Estadísticas Censo INEI
		Caudal	Lts/s	Vertedero
		Periodo de diseño	Años	-

**Tabla N°01:** Variable Independiente. **Fuente:** Elaboración Propia.

➤ **Variable Dependiente**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	UNIDADES DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
PTAR de Covicorti y el Cortijo de la ciudad de Trujillo	Consiste una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.	Población	Hab.	Estadísticas Censo INEI y INEGI
		Dotación	Lts/hab/día	R.N.E y Norma Técnica OS.100
		Caudal	Lts/s	Vertedero
PTAR de Nuevo Laredo, Tamaulipas – México.	Consiste una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.	Población	Hab.	Estadísticas Censo INEI
		Dotación	Lts/hab/día	Nom-001-CONAGUA-2011
		Caudal	Lts/s	Vertedero
		Periodo	Años	R.N.E

**Tabla N°02:** Variable Independiente. **Fuente:** Elaboración Propia.

**3.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

La selección de los instrumentos empleados para la recolección de datos, se realizó atendiendo a la validez que ofrecen, pues permite realmente la medición de la variable obteniendo una respuesta observable. Al Respecto Batista P., Según Hernández, Fernández, & Baptista (2003, p. 345) acota que: “Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente.

➤ **Revisión Literaria**

Para la recolección de datos bibliográficos y linkográficos se hizo uso de diversas fuentes de información como: textos, tesis de grado relacionadas al tema de estudio que ayudaran a describir los componentes de cada tipo de

metodología estudiada, así como también la revisión del Reglamento Nacional de Edificaciones y páginas web confiables.

➤ **Observación Directa**

Por medio de la observación directa fue posible la evaluación del comportamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales existente, y así lo define Sabino (1992, p. 116): “La observación directa consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar”.

➤ **Entrevistas Indirectas**

A través de la entrevista se logró obtener información general, esta se realizó a profesionales con conocimientos del tema, asesor, técnicos laboratoristas, ingenieros y otros profesionales, para la recopilación y obtención de datos referente a la temática de investigación.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Datos Generales

- Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas - Mexico.

DATOS GENERALES	
Poblacion Total	460590 hab.
Poblacion Servida	422290 hab.
Caudal Promedio	900 l/s
CONDICIONES DE ENTRADA	
Concentración de DBO5	220 mg/l
Concentración SST	220 mg/l
Temperatura minima	18°C
Temperatura máxima	30°C
LIMITES DE EFLUENTE	
Concentración del DBO5	20 mg/l
Concentración de SST	20 mg/l
Ph	6 a 9

- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Covicorti

DATOS GENERALES	
Poblacion Total	483800 hab.
Poblacion Servida	397300 hab.
Caudal Promedio	358 l/s
Terreno Disponible	22 ha.
Condiciones de Entrada	
Concentración de DBO5	350 mg/l
Concentración SST	450 mg/l
Temperatura minima	13°C
Temperatura maxima	25°C
Limites de Efluente	
Concentración del DBO5	100 mg/l
Concentración de SST	150 mg/l
ph	6.5 a 8.5

➤ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cortijo

DATOS GENERALES	
Poblacion Total	185600 hab.
Poblacion Servida	143500 hab.
Caudal Promedio	57 l/s
Terreno Disponible	9.2 ha.
CONDICIONES DE ENTRADA	
Concentración de DBO5	400 mg/l
Concentración SST	500 mg/l
Temperatura minima	13°C
Temperatura maxima	25°C
LIMITES DE EFLUENTE	
Concentración del DBO5	100 mg/l
Concentración de SST	150 mg/l
ph	6.5 a 8.5

## 4.2. Estado Situacional

PTAR	INICIO DE OPERACIÓN	PERIODO DE DISEÑO	CAPACIDAD	CAUDAL DE OPERACIÓN	RENDIMIENTO	ESTADO SITUACIONAL			
	Año	Años	l/s	l/s		ANTIGÜEDAD	OPERATIVO	EQUIPOS	FISICO
COVICORTI	1998	15 años	860 l/s	358 l/s	42%	20 años	Malo rendimiento	12 aireadores(6 c/u), 7 en mal estado. 2 electrobombas, requieren cambio en los proximos 2 años.	Regular, requiere de limpieza de lodos.
CORTIJO	1998	15 años	240 l/s	57 l/s	24%	20 años	Malo rendimiento	7 aireadores(4 y 3), 3 en mal estado. 2 electrobombas, requieren cambio en los proximos 2 años.	Regular, requiere de limpieza de lodos.
NUEVO LAREDO	1996	20 años	1360 l/s	900 l/s	90%	21 años	Buen rendimiento	Equipos en buen estado gracias al plan de mantenimiento que tiene.	Deficiencia en el manejo de Lodos, el consumo energetico alto, el espacio insuficiente.

## 4.3. Tecnología

### 4.3.1. Tecnología Covicorti.

PTAR	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	USO DE AGUA TRATADA
COVICORTI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de llegada.- Se ubica al ingreso de la planta de tratamiento y esta constituida por una caja de concreto dimensionada en función al caudal máximo.</li> <li>• Cribas.- o cámara de rejillas es de limpieza mecánica. Fue dimensionada de manera de permitir una velocidad de flujo entre las rejillas no menor 0.6 m/s ni mayor a 1.4 m/s. El espaciamiento entre rejillas es 40 mm y el espesor es de 8 a 13 mm.</li> <li>• Medidor de Caudal.- Se construyó un medidor de caudal tipo khafagi-venturi</li> <li>• Vertedero de reboso y by-pass.- cuenta con un vertedero de reboso que entra en funcionamiento si los equipos de bombeo o rejillas dejan de funcionar.</li> <li>• Estación de bombeo.- Han sido diseñados en función al caudal máximo, 2 equipos de bombeo para 450 l/s y 5m de carga.</li> <li>• Estructura de repartición.- En el diseño se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento.</li> <li>• Estructuras de ingreso a lagunas aeradas.- La estructura será de tipo Ladera.</li> <li>• Lagunas aeradas.- Los criterios de diseño: Período de retención mínimo: 1.47 días Período de retención promedio: 1.85 días Profundidad máxima: 4.0 m Constante de asimilación de DBO: 0.026 l/(mgXv/l-día) Sólidos vía síntesis (a): 0.5 mg Xv/mg DBO Respiración endógena (b): 0.12 l/d Rendimiento del aerador: 1.5 kg O<sub>2</sub>/kW-h</li> <li>• Estructuras de salida de lagunas aeradas.- Esta conformado por un vertedero rectangular de pared gruesa y borde redondeado protegido por una pantalla destinada a impedir la salida del material flotante. La escotadura del vertedero se ha diseñado para que la carga hidráulica no sea mayor a 17 cm. y a un lado se a diseñado una poza de 30 cm. de diámetro para efectuar las mediciones del tirante de agua.</li> <li>• Canal de recolección y distribución.- El efluente de las lagunas aeradas será conducido por canales rectangulares y en las proximidades a los ingresos de las lagunas facultativas se han construido dispositivos de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión. En el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento.</li> <li>• Estructuras de ingreso de lagunas facultativas.- Son similares a las empleadas en los reactores mecanizados y se considera que por las características del efluente de las lagunas aeradas, los lodos se distribuyan más uniformemente en toda la extensión de la laguna de maduración.</li> <li>• Lagunas facultativas.- Los criterios de diseño: Profundidad 2.10 m Tasa máxima aplicable (20°C) 380 kg.DBO5/ha día (según Yáñez) Factor de seguridad 0.9 Tiempo de retención mínimo por laguna 4.0 días Tiempo de retención promedio por laguna 5.2 días</li> <li>• Estructuras de salida de lagunas facultativas.- Fueron diseñados aplicando el concepto de tasa de desborde. Como medida de protección contra el desborde, cada estructura de salida cuenta con aliviaderos para el control del nivel máximo de agua en la laguna.</li> <li>• Canal de recolección.- Los canales de recolección de las aguas residuales tratadas serán de forma trapecial y las que se encuentren al pie de los terraplenes de las lagunas serán recubiertas con losas de concreto a fin de no afectar la estabilidad de los diques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación eficiente de: DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendedos Totales y patógenos.</li> <li>• Fácil control de la operación.</li> <li>• Bajos requerimientos de manutención.</li> <li>• No requiere clarificación previa.</li> <li>• Genera Lodos parcialmente estabilizados.</li> <li>• Generan un efluente de alta calidad, con baja inversión y bajos costos operativos (un orden de magnitud menor que convencional).</li> <li>• Soporta efluentes discontinuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de lodos secundarios, al igual que los sistemas convencionales.</li> <li>• Pueden generar malos olores.</li> <li>• Proliferación de insectos.</li> <li>• Mayor requerimiento de espacio que los sistemas convencionales de lodos activados.</li> <li>• Ausencia de oxígeno disuelto en algunos puntos de las lagunas aeradas.</li> <li>• Flóculos dispersos y abundancia de espumas.</li> <li>• Presencia de desechos industriales.</li> <li>• Alto contenido de detergentes en las aguas residuales crudas.</li> <li>• Afloración excesiva de algas (formación de nata verde).</li> </ul>	<p>El Plan Maestro de 1986 determinó que como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales era posible irrigar hasta 600 ha. de terrenos agrícolas y los productos agrícolas más rentables en ese momento eran: caña de azúcar, maíz, camote, frijol, choclo y lenteja. Es por eso que los efluentes de Covicorti fueron destinados al riego de caña de azúcar y los productos agrícolas reseñados anteriormente y en el año 2005, los excedentes fueron dispuestos al mar al haberse satisfecho la demanda de agua para riego.</p>



### 4.3.2. Tecnología Cortijo.

PTAR	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	USO DE AGUA TRATADA
CORTIJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de llegada.- Se ubica al ingreso de la planta de tratamiento y esta constituida por una caja de concreto dimensionada en función al caudal máximo.</li> <li>• Cribas.- o cámara de rejillas es de limpieza mecánica. Fue dimensionada de manera de permitir una velocidad de flujo entre las rejillas no menor 0.6 m/s ni mayor a 1.4 m/s. El espaciamiento entre rejillas es 40 mm y el espesor es de 8 a 13 mm.</li> <li>• Medidor de Caudal.- Se construyó un medidor de caudal tipo khafági-venturi</li> <li>• Vertedero de rebose y by-pass.- cuenta con un vertedero de rebose que entra en funcionamiento si los equipos de bombeo o rejillas dejan de funcionar.</li> <li>• Estación de bombeo.- Han sido diseñados en función al caudal máximo, 2 equipos de bombeo para 450 l/s y 5m de carga.</li> <li>• Estructura de repartición.- En el diseño se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento.</li> <li>• Estructuras de ingreso a lagunas aeradas.- La estructura será de tipo Ladera.</li> <li>• Lagunas aeradas.- Los criterios de diseño: Período de retención mínimo: 1.47 días Período de retención promedio: 1.85 días Profundidad máxima: 4.0 m Constante de asimilación de DBO: 0.026 l/(mgXv/l-día) Sólidos vía síntesis (a): 0.5 mg Xv/mg DBO Respiración endógena (b): 0.12 l/d Rendimiento del aerador: 1.5 kg O<sub>2</sub>/kW-h</li> <li>• Estructuras de salida de lagunas aeradas.- Esta conformado por un vertedero rectangular de pared gruesa y borde redondeado protegido por una pantalla destinada a impedir la salida del material flotante. La escotadura del vertedero se ha diseñado para que la carga hidráulica no sea mayor a 17 cm. y a un lado se ha diseñado una poza de 30 cm. de diámetro para efectuar las mediciones del tirante de agua.</li> <li>• Canal de recolección y distribución.- El efluente de las lagunas aeradas será conducido por canales rectangulares y en las proximidades a los ingresos de las lagunas facultativas se han construido dispositivos de reparto sin piezas móviles y material resistente a la corrosión. En el diseño de las estructuras de reparto se ha considerado el caso de la salida de operación de alguno de los reactores por motivo de limpieza o mantenimiento.</li> <li>• Estructuras de ingreso de lagunas facultativas.- Son similares a las empleadas en los reactores mecanizados y se considera que por las características del efluente de las lagunas aeradas, los lodos se distribuyan más uniformemente en toda la extensión de la laguna de maduración.</li> <li>• Lagunas facultativas.- Los criterios de diseño: Profundidad: 2.00 m Tasa máxima aplicable (20°C): 380 kg.DBO<sub>5</sub>/ha día (según Yáñez) Factor de seguridad: 0.9 Tiempo de retención mínimo por laguna: 4.85 días Tiempo de retención promedio por laguna: 6.3 días</li> <li>• Estructuras de salida de lagunas facultativas.- Fueron diseñados aplicando el concepto de tasa de desborde. Como medida de protección contra el desborde, cada estructura de salida cuenta con aliviaderos para el control del nivel máximo de agua en la laguna.</li> <li>• Canal de recolección.- Los canales de recolección de las aguas residuales tratadas serán de forma trapecial y las que se encuentren al pie de los terraplenes de las lagunas serán recubiertas con losas de concreto a fin de no afectar la estabilidad de los diques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación eficiente de: DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendedos Totales y patógenos.</li> <li>• Fácil control de la operación.</li> <li>• Bajos requerimientos de manutención.</li> <li>• No requiere clarificación previa.</li> <li>• Genera Lodos parcialmente estabilizados.</li> <li>• Generan un efluente de alta calidad, con baja inversión y bajos costos operativos (un orden de magnitud menor que convencional).</li> <li>• Soporta efluentes discontinuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de lodos secundarios, al igual que los sistemas convencionales.</li> <li>• Pueden generar malos olores.</li> <li>• Proliferación de insectos.</li> <li>• Mayor requerimiento de espacio que los sistemas convencionales de lodos activados.</li> <li>• Ausencia de oxígeno disuelto en algunos puntos de las lagunas aeradas.</li> <li>• Flóculos dispersos y abundancia de espumas.</li> <li>• Presencia de desechos industriales.</li> <li>• Alto contenido de detergentes en las aguas residuales crudas.</li> <li>• Afloración excesiva de algas (formación de nata verde).</li> </ul>	<p>El Plan Maestro de 1986 determinó que como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales era posible irrigar hasta 600 ha. de terrenos agrícolas y los productos agrícolas más rentables en ese momento eran: caña de azúcar, maíz, camote, frijol, choclo y lenteja. Es por eso que los efluentes de Cortijo fueron destinados al riego de caña de azúcar y los productos agrícolas reseñados anteriormente y en el año 2005, los excedentes fueron dispuestos al mar al haberse satisfecho la demanda de agua para riego.</p>

### 4.3.3. Tecnología Nuevo Laredo.

PTAR	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
<p>NUEVO LAREDO, MEXICO</p>	<p><b>La estructura de pretratamiento</b> está constituido por lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos sopladores de aire, estos dan el aire necesario para mantener suspendidos los sólidos en el agua y evitar el agotamiento de oxígeno.</li> <li>• Dos rejillas de barra de limpieza mecánica con el fin de eliminar los sólidos grandes mayores a 20 . Cuenta con dos rastrillos mecánicos accionados por motores de 5Hp para eliminar los residuos y depositarlos sobre la banda transportadora para que lleguen a un depósito o contenedor.</li> <li>• Cuenta con una rejilla manual, que será utilizada cuando alguna de las mecánicas no esté en servicio o las condiciones del agua, así lo requieran.</li> <li>• Dos desarenadores tipo vórtice, dos mecanismos de transmisión y dos bombas de arena. Periódicamente la arena acumulada será vaciada a la tolva.</li> <li>• Cuatro rejillas finas de remoción de colección de arena, estas ayudan a la limpieza de la tolva para retirar la arena acumulada.</li> <li>• Banda transportadora, ésta lleva los sólidos retenidos en las rejillas de barra y la arena removida de las rejillas de remoción de colección de arena.</li> </ul> <p><b>En el tratamiento secundario</b> se elimina la materia orgánica presente en las aguas residuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seis zanjas de oxidación, cada zanja de oxidación mide 98.6 de longitud, 38.4 de ancho y 6.7 de altura. Tiene una capacidad hidráulica individual de 17850.7 m3.</li> <li>• Dieciocho aireadores mecánicos, tres por cada zanja. Suministran el aire al flujo de agua residual para garantizar el oxígeno para la creación lodos activados. Cada aireador es accionado por una por un motor de 150hp, la cantidad mínima de oxígeno (O2) que debe inyectar es de 2.13 kg O2/kWh.</li> <li>• Una caja de distribución de flujo, controla el flujo que se vierte de cada zanja de oxidación, así los clarificadores. Es un sistema de compuertas, que al abrir o cerrar cada una de estas, permite pasar al flujo por tuberías individuales y entrar en el centro de cada clarificador secundario.</li> <li>• Cuatro clarificadores secundarios, cada uno mide 50 de diámetro, con un vertedor para el efluente de 47.8 metros de diámetro y una profundidad de 6.35 metros.</li> </ul> <p><b>Cloración:</b> Instalaciones en las que se aplica el cloro como desinfectante, se asegura que no ingresen al río niveles dañinos de organismos patógenos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara de inyección de la solución de cloro, mide 10.3 de longitud y 2.4 de profundidad. La cámara está dividida en dos secciones, para aislar el flujo de ser necesario.</li> <li>• Dos tanques de contacto con cloro. Cada uno mide 32.7 m de longitud, 14 m de ancho y 3.6 m de profundidad, cuenta con 11 mamparas alternadas y perpendiculares a las paredes. El acomodo de la mamparas es para asegurar un contacto adecuado del cloro por 30 minutos.</li> <li>• Canal Parshall, el cual tiene la finalidad de tener la medición del efluente que está por salir de la PITARNL.</li> <li>• Cilindros de cloro, la planta puede almacenar hasta 26 tanques de cloro, pero en todo momento debe de haber 18 tanques llenos de cloro, cada cilindro contiene aproximadamente 908 kg de cloro líquido.</li> <li>• Dos evaporadores de cloro, cada uno tiene capacidad de 6000 lb/día , es decir que cada uno puede emitir suficiente gas cloro a los cloradores.</li> <li>• Dos cloradores, los evaporadores mandan el gas cloro por ductos hasta los cloradores. Por su parte el personal debe estar atento a la cantidad de cloro que se aplica para que se lleve a cabo la desinfección de forma correcta.</li> <li>• Oxigenación y eliminación de cloro residual.</li> </ul> <p><b>Manejo de lodos:</b> esta constituida</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos estaciones de bombeo de retorno de lodos de desecho, cada una cuenta con tres bombas para extraer los lodos sedimentados de los sedimentadores secundarios, un porcentaje se envía a las instalaciones de cabeza para que se mezclen con las aguas crudas, mientras que el resto se envía al tanque de retención de lodos de desecho.</li> <li>• Tanque de retención de lodos de purga, cuenta con dos celdas individuales a las que llega el lodo de retorno procedente de las bombas de retorno de lodos, para enviarlos posteriormente a los lechos de secado.</li> <li>• Tres bombas de lodos de purga de desplazamiento tipo tornillo, colocadas junto al tanque de retención de lodos para enviar los lodos a los lechos de secado.</li> <li>• Tres sopladores de aire de desplazamiento positivo, la función es inyectar aire al tanque de retención con el fin de propiciar la biodegradación final de la materia orgánica, digestión aerobia de los lodos, así como eliminar malos olores provenientes de los lodos. El tiempo aproximado de retención es de 12 horas, antes de pasar a los lechos de secado.</li> <li>• 80 lechos de secado, cada uno tiene dos tuberías perforadas de PVC, cubierta por varias capas de grava y arena graduada. El 90% de los lodos es agua, la cual se filtra, para ser devueltos a la estación de bombeo de la PITARNL. El tiempo de retención de los lodos en los lechos es de aproximadamente de 3 semanas en condiciones normales de clima</li> </ul>

PTAR	VENTAJAS	DESVENTAJAS	USO DE AGUA TRATADA
<p>NUEVO LAREDO, MEXICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.</li> <li>• Alta Eficiencia de remoción de carga orgánica sustancialmente más alta que la que se alcanza en otros procesos como los del tipo Convencional por Cultivo Fijo.</li> <li>• Minimización de Olores y Ausencia de insectos.</li> <li>• Puede incorporar Desnitrificación al proceso.</li> <li>• Posibilidades de regular energía consumida para variaciones de carga orgánica.</li> <li>• Prescinde de sedimentación primaria. Los lodos generados son altamente mineralizados por lo que no requieren de tratamiento posterior.</li> <li>• Generación de lodos secundarios “estabilizados” que al igual que los sistemas convencionales pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás, entre otras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere mayor Sofisticación y Mantenimiento.</li> <li>• Dependencia con la temperatura del efluente a tratar y condiciones de entrada como pH y presencia de compuestos tóxicos.</li> <li>• Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos.</li> <li>• Requiere de un control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.</li> <li>• Altos costos de operación, asociados fundamentalmente a los requerimientos de oxígeno.</li> <li>• Bajo abatimiento bacteriológico, logrando en general abatir no más allá de un ciclo logarítmico en términos de Coliformes Fecales, con la consecuente necesidad de efectuar desinfección final al efluente.</li> </ul>	<p>La PITARNL trata el 90% de las aguas tratadas de Nuevo Laredo. Los principales productos que genera, son el efluente y los lodos residuales. El efluente se reutiliza mayormente reincorporándolo al Río Bravo, aunque existe un sistema de bombeo de 30 l/s para regar un parque de Golf. El efluente descargado al Río es utilizado río abajo en actividades, como la agricultura, generación de energía, recreativo, y para uso doméstico en las poblaciones de Reynosa, Matamoros, Río Bravo, Miguel Alemán, Cd. Mier y Díaz Ordaz en Tamaulipas, así como ecosistemicas, ya que se debería asegurar un volumen para el Delta del Río Bravo, una zona natural protegida por la Semarnat. Por otro lado los lodos residuales, se aprovechan de manera marginal.</p>

#### 4.4. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES.

##### 4.4.1. COVICORTI:

<b>PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) - TRUJILLO - PERÚ</b>					
<b>PTAR DE LA CIUDAD DE TRUJILLO - PERÚ</b>					
			<b>COVICORTI</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DATOS NORMA (Imp)</b>	<b>CRUDO</b>	<b>TRATADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/lit	<b>20</b>	98	18	82%
<b>COLIF TERMOTOLERANTES</b>	NMP/100 ml (Mlls)	<b>0.01</b>	300	3.5	98.80%
<b>DBO</b>	mg/lit	<b>100</b>	350	30	91%
<b>DQO</b>	mg/lit	<b>200</b>	900	180	80%
<b>PH</b>		<b>6.5 a 8.5</b>	7.6	8	OK
<b>SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES</b>	mg/lit	<b>150</b>	450	220	51%
<b>TEMPERATURA AGUA</b>	°C	<b>&lt;35°C</b>	25	22	OK

##### 4.4.2. CORTIJO:

<b>PTAR DE LA CIUDAD DE TRUJILLO - PERÚ</b>					
			<b>EL CORTIJO</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DATOS NORMA (Imp)</b>	<b>CRUDO</b>	<b>TRATADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/lit	<b>20</b>	87	12	86%
<b>COLIF TERMOTOLERANTES</b>	NMP/100 ml (Mlls)	<b>0.01</b>	300	3	99.0%
<b>DBO</b>	mg/lit	<b>100</b>	400	30	93%
<b>DQO</b>	mg/lit	<b>200</b>	1100	110	90.0%
<b>PH</b>		<b>6.5 a 8.5</b>	7.5	7.5	OK
<b>SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES</b>	mg/lit	<b>150</b>	500	220	56%
<b>TEMPERATURA AGUA</b>	°C	<b>&lt;35°C</b>	25	24	OK

#### 4.4.3. NUEVO LAREDO.

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) - NUEVO LAREDO- MÉXICO</b>					
<b>PTAR DE LA CIUDAD DE NUEVO LAREDO TAMAULIPAS MEXICO</b>					
			<b>NUEVO LAREDO</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DATOS NORMA (Imp)</b>	<b>CRUDO</b>	<b>TRATADO</b>	<b>EFICIENCIA</b>
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	<b>mg/lit</b>	<b>20</b>	50	8.26	OK
<b>COLIF TERMOTOLERANTES</b>	<b>NMP/100 ml (Mlls)</b>	<b>0.01</b>	290	<3	OK
<b>DBO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>30 días 20</b>	220	3.89	OK
<b>DQO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>200</b>			
<b>PH</b>		<b>6.5 a 9</b>	7.35	7.36	OK
<b>SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES</b>	<b>mg/lit</b>	<b>30 días 20</b>	220	6.75	OK
<b>TEMPERATURA AGUA</b>	<b>°C</b>	<b>&lt;35°C</b>	28	25	
<b>OXIGENOS DISUELTO</b>	<b>mg/lit</b>	<b>&lt;2</b>		8.26	OK

## 5. CONCLUSIONES

- La ciudad de Trujillo cuenta para el tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización; siendo las de mayor envergadura las de Covicorti y El Cortijo, las que son complementadas con aereación mecanizada; sin embargo, estas lagunas, no estarían cumpliendo con los Valores Máximos Permisibles que sostiene las normas vigentes.
- En México una de las plantas de tratamiento ejemplos es la planta internacional de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas-México que cuenta como tecnología para tratar las aguas residuales a los lodos activados, cumplen con todos los valores máximos permisibles que sostiene la Norma Mexicana es por eso que es considerada una planta eficiente.
- El diagnostico de las PTAR de Covicorti y Cortijo nos da como resultado que ya cumplido con su periodo de diseño y actúan con un rendimiento de 42% y 24% de aguas tratadas respectivamente; caso contrario sucede con la planta internacional de tratamiento de aguas residuales de Nuevo Laredo, Tamaulipas-México que actúa con un rendimiento a un 90% de aguas tratadas y teniendo una antigüedad mayor a las plantas de Covicorti y Cortijo.
- La tecnología con relación al equipamiento de los sistemas de Covicorti y el Cortijo llevan equipos de Aireación. La primera PTAR, tiene 12 aireadores operativos (6 c/u), cuando debería contar con 16 para un trabajo eficiente, de los operativos 6 presentan mal estado, por lo que se requiere su reemplazo. La segunda PTAR tiene 7 aireadores operativos (4 en una y 3 en otra) y debería contar con 10 aireadores (5 en c/u); 3 equipos están en mal estado, por lo que se requiere su cambio. En cambio la PITAR de Nuevo Laredo cuenta con un sistema de mantenimiento que el equipamiento de la planta se encuentra en un buen estado operativo.
- El estado físico de las PTAR de COVICORTI Y EL CORTIJO, requieren de limpieza de Lodos, actividad que si se llevó acabo y que requiere de una periodicidad después de 5 años de operación en cada una de las lagunas. En México la PITAR de Nuevo Laredo su estado físico se encuentra en perfectas condiciones y esto se debe a tres factores: la supervisión de la CILA, la construcción y un buen diseño de la planta, así como el óptimo manejo en la

operación y mantenimiento. El único problema con la planta de Nuevo Laredo es el manejo de lodos residuales producido por el tratamiento de aguas residuales de lodos activados.

- El análisis comparativo nos permite darnos cuenta que las PTAR de Covicorti y Cortijo deben contar con un nuevo sistema de tratamiento de sus aguas, la propuesta de los lodos activados serían una muy buena alternativa de solución y traería buenos resultados y beneficios aunque sus costos de operación y mantenimiento son altos.

## 6. RECOMENDACIONES

- Toda planta de tratamiento de aguas residuales recién construida, debe ser sometida a pruebas de carácter constructivo, como pruebas de impermeabilidad y también debe verificarse su funcionamiento hidráulico, considerando la cámara de rejillas, las diversas unidades que la integran. (por ejemplo: la laguna de estabilización) y su descarga.
- Las plantas de tratamiento deben encontrarse convenientemente cercadas, de manera de evitar el ingreso de personas no autorizadas o animales. Es recomendable arborizar el perímetro de la planta para proteger las condiciones sanitarias del área.
- Si la planta de tratamiento no es operada y mantenida correctamente, se generará un gran daño a la salud de los habitantes y las poblaciones adyacentes.
- Todo sistema de alcantarillado debe cumplir con requisitos de protección al medio ambiente, previstos en los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental.
- El mantenimiento, la construcción y las reparaciones de los equipos utilizados en las plantas de tratamiento deben ser operadas por profesionales capacitados en dicha área.
- Tratar las aguas residuales por métodos de Cloración para su continuo uso en arborización y riego.
- Concluyendo que los costos de aplicación de Lodos Activados en una PTAR son elevados nosotros optamos por recomendar una planta de tratamiento de con tecnología de filtros percoladores o Tratamientos Primarios.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y LINKOGRAFIA

- ✓ NOM-001-SEMARNAT-1996. (1996). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales.
- ✓ NOM-002-SEMARNAT-1996. (1996). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- ✓ NOM-003-SEMARNAT-1997. (1997). Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
- ✓ Comision Internacional de Límites y Aguas entre Mexico y los Estados Unidos. (1997). Acta 297
- ✓ Martínez, S. (1999) “Parámetros de diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales”.
- ✓ NOM-004-SEMARNAT-2002. (2002). Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.
- ✓ NOM-014-CONAGUA-2003. (2003). Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- ✓ Jáuregui, L. (2013) “Urbanizaciones disponibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales” (Tesis para obtener el Título de Ingeniero Civil) Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ✓ Blanco, P. (2014) “Aprovechamiento de lodos residuales para cerrar el ciclo urbano del agua, mejorar la eficiencia energética y reducir los GEI: caso de la PITAR Nuevo Laredo” Tamaulipas – México (Tesis para obtener el grado de Maestra de Gestión Integral del Agua)

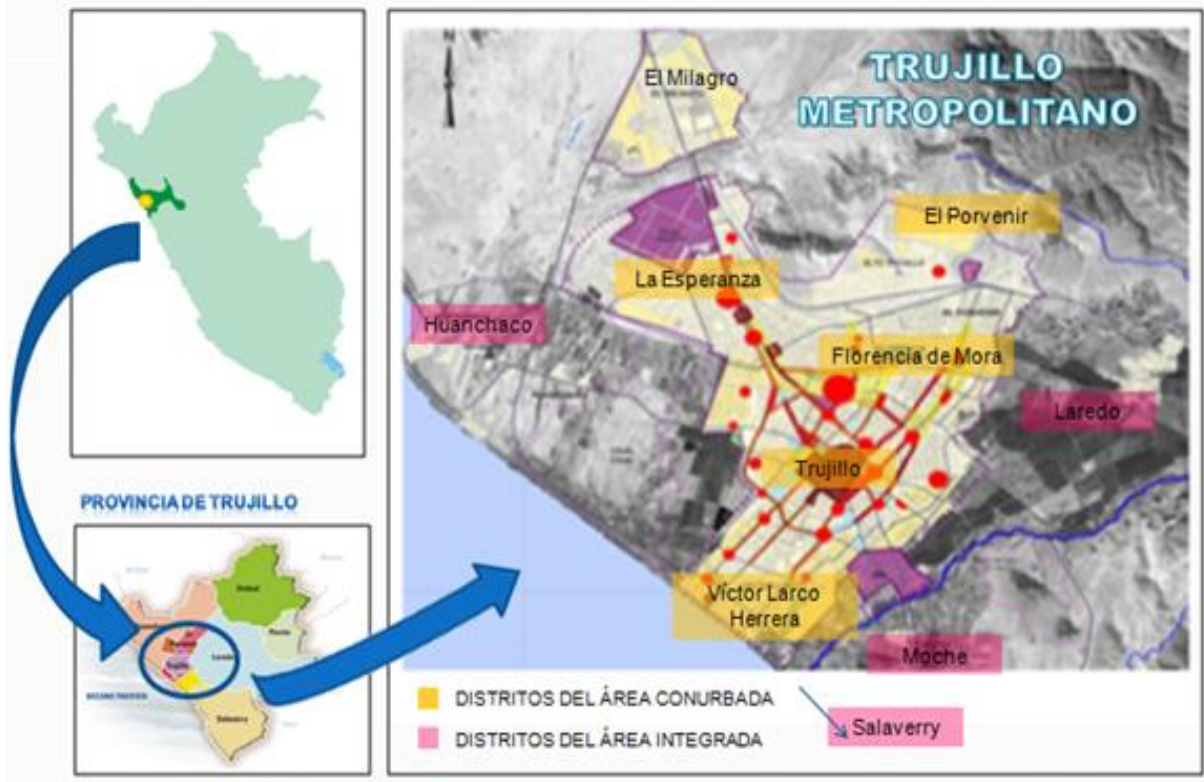
- ✓ Acuña, S. (2015) “Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile.
- ✓ Lopez, Herrera (2015) “Planta de tratamiento de Aguas Residuales para reuso en riego de parques y jardines en el distrito de la Esperanza, Provincia de Trujillo – La Libertad” (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil) Universidad Privada Antenor Orrego.
- ✓ Cotillas, S. (2015) Regeneración de aguas residuales depuradas mediante Procesos electroquímicos integrados” La Mancha- España (Tesis para obtener el título de profesional de doctorado Internacional) Universidad De Castilla.
- ✓ Mendez, J. y Marchán, J. (2008) Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución
- ✓ Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). Reglamento Nacional de Edificaciones. El Peruano.

- **LINKOGRAFIA.**

- ⇒ <http://norestedigital.net/?p=34757>
- ⇒ <http://www.cila.gob.mx/actas/297.pdf>
- ⇒ <http://studylib.es/doc/191304/planta-internacional-de-tratamiento-de-aguas-residuales-d...>
- ⇒ <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/9279/PITARNL.pdf>

## 8. ANEXOS

- Anexo N° 01: Ubicación de las PTRAs de cortijo y covicorti



- Anexo N° 02: Ubicación de la PITARNL.



- Anexo N° 03: Manual para el diseño de planta de tratamiento.



- **Anexo N° 04: Norma Peruana para el diseño de planta de tratamiento.**

**NORMA OS.090  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

1.	<b>OBJETO</b> .....	05
2.	<b>ALCANCE</b> .....	05
3.	<b>DEFINICION</b> .....	05
4.	<b>DISPOSICIONES GENERALES</b> .....	17
4.1	Objeto del tratamiento.....	17
4.2	Orientación básica para el diseño.....	17
4.3	Normas para los estudios de factibilidad.....	18
4.4	Normas para los estudios de ingeniería básica.....	22
5.	<b>DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS</b> .....	23
5.1	Aspectos generales.....	23
5.2	Obras de llegada.....	24
5.3	Tratamiento preliminar.....	26
5.3.1	Cribas.....	26
5.3.2	Desarenadores.....	27
5.3.3	Medidor y repartidores de caudal.....	28
5.4	Tratamiento primario.....	29
5.4.1	Generalidades.....	29
5.4.2	Tanques Imhoff.....	29
5.4.3	Tanques de sedimentación.....	31
5.4.4	Tanques de flotación.....	34
5.5	Tratamiento secundarios.....	34
5.5.1.	Generalidades.....	34
5.5.2.	Lagunas de estabilización.....	34
5.5.2.1	Aspectos generales.....	34
5.5.2.2	Lagunas anaerobias.....	35
5.5.2.3	Lagunas aeradas.....	36
5.5.2.4	Lagunas facultativas.....	38
5.5.2.5	Diseño de lagunas para la remoción de organismos patógenos.....	40
5.5.2.6.	Normas generales para el diseño de lagunas.....	41

- **Anexo N° 05: Fotografías de las PTAR de Covicorti y el Cortijo.**



Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Covicorti.



Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cortijo.

- **Anexo N° 06: Fotografías de la PITAR de Nuevo Laredo, Mexico.**



Carcamo de llegada.



Remocion de basura.



Barra transportadora.



Rejillas de remoción de arena.



Zanjas de oxidación con y sin aireación.



Clarificadores.





Estación de cloración.



Tanque de contacto de cloro.



Salida de efluente.



Digestión de Lodos en el tanque de retención de Lodos.

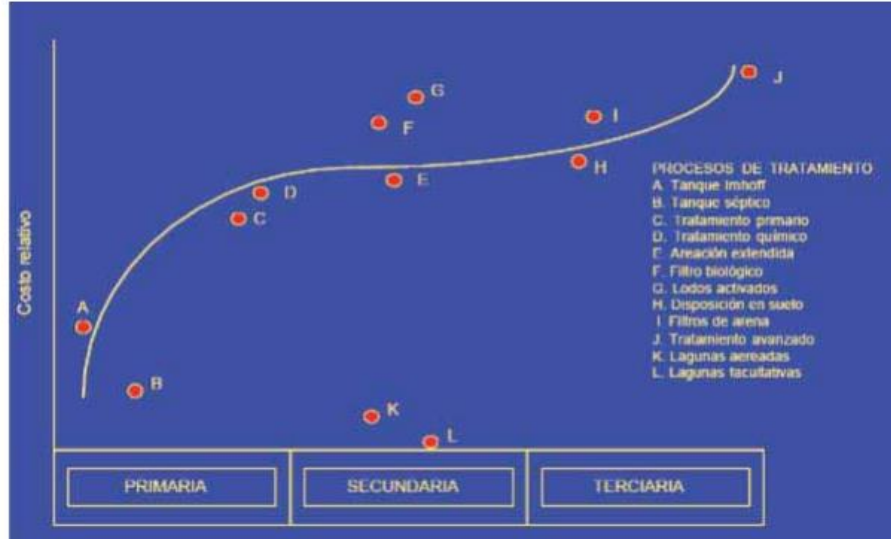


Lodos digeridos.



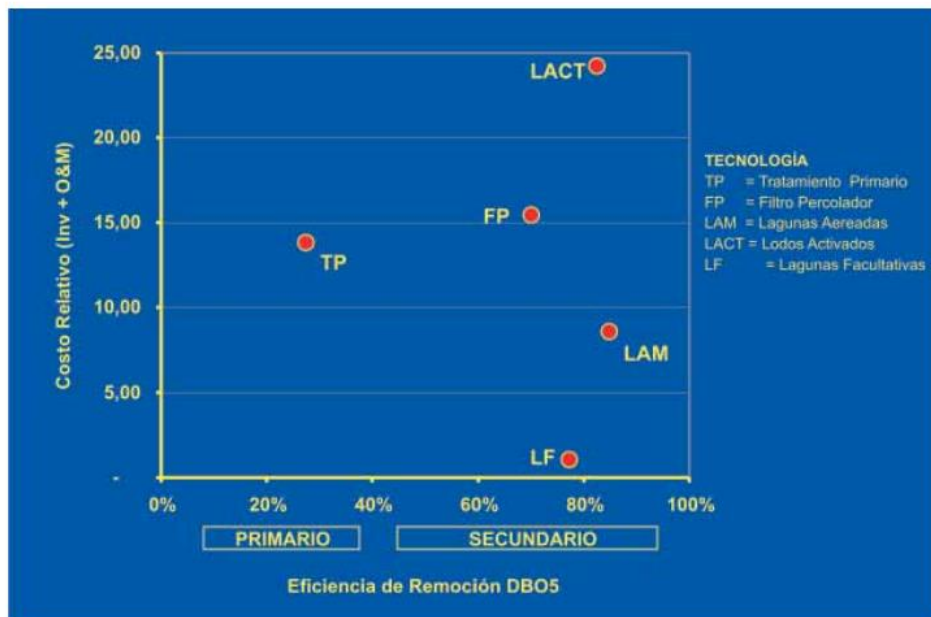
Lechos de secado.

**Gráfico 3**  
**Costo relativo de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: Presentado por el ingeniero Ricardo Rojas Vargas en el Taller de Diseño y Dimensionamiento de PTAR del Instituto del Agua y Medio Ambiente (IAMA), abril de 2007, Lima, Perú.

**Gráfico 4**  
**Costo relativo de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para PTAR de 200 l/s**



Nota: Basado en ecuaciones de costos de diversas publicaciones y calculado sobre la base de una PTAR de 200 l/s y costos de O&M a perpetuidad con tasa de 5% anual.