



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Aplicación de la metodología  
de diseño de plantas de tratamiento  
de aguas residuales a dos casos de estudio.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

**Camila Silva Escamilla**

Director de tesis  
M.I. Carlos Manuel Menéndez Martínez



MÉXICO, D.F

2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



## Agradecimientos

A mis papás por su apoyo incondicional, por darme todo su cariño.

A mi mamá por insistirme en que acabara la tesis YA y sentarse a mi lado para que trabajara en ella. Mutty la acabé en una fecha super especial. Solo que faltaban todas las correcciones.

A mi papá por estar aquí en las buenas, en las malas y en las intermedias, por darme todo tu apoyo a crecer. Por decirme “aquí viene esta Ingenierita con alguna otra loca idea” me hace reír mucho. Pá te quiero mucho.

A mi hermano por decir que soy un bloque de concreto y hacerme reír con eso, porque a pesar de nuestras discusiones, siempre estará ahí conmigo.

A mi Oma por escucharme y darme sus sabios consejos en materia de paciencia.

A Nina por poder traducir mis locuras en palabras claras para la introducción y las conclusiones y decirme “pon a tu mercurio a funcionar bien, no lo mates”.

A mis tíos por apoyarme en todas mis locuras. Porque por fin entendieron mi fascinación de ir a Home Depot, después de tantos años que les decía que era increíble, ahora son igual de fans que yo.

A mis profesores que me guiaron en mis estudios. Por apoyarme cuando lo necesité.

Atentamente,

Camila Silva Escamilla.

México, D.F. a 2 de octubre del 2008.



## Índice

	Página
Introducción	5
I. Metodología general para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales	7
II. Características generales del medio natural del Municipio de Pánuco, Veracruz	38
III. Caso estudio: planta de tratamiento para la cabecera municipal de Pánuco.	46
IV. Características generales del medio natural del Municipio de Ciudad Mante, Tamaulipas	62
V. Caso estudio: planta de tratamiento para la cabecera municipal de Ciudad Mante.	70
VI. Conclusiones	86
Bibliografía	87
Agradecimientos	89

## Introducción

Ve en derecha al hecho, pausadamente, y aporta por anticipado las medidas que deben adoptarse para paliar cualquier contratiempo y reducir las consecuencias a su mínima expresión.

Noel Clarasó

La presente tesis está desarrollada a partir de mi participación en Ingenieros sin Fronteras-México A.C. y busca demostrar la aplicación de las metodologías de diseño hidráulico de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en dos casos de estudio dentro de los municipios de Ciudad Mante, Tamaulipas y Pánuco, Veracruz.

Ingenieros sin Fronteras-México A.C. es un miembro activo de Ingenieros sin Fronteras-Internacional que es una organización no gubernamental (ONG) que tiene por objetivo coadyuvar a las comunidades con la implementación de programas de ingeniería, utilizando la tecnología existente para dotar a dichas comunidades de los servicios que, en esta materia, requieren.

Ingenieros sin Fronteras – México A.C. considera que la ingeniería es una herramienta esencial para el acceso universal a los servicios básicos e imprescindibles para una vida digna. Para lograr que la mayoría de las comunidades dentro de la República Mexicana cuenten con agua potable, condiciones sanitarias adecuadas y recursos que satisfagan sus necesidades, el ingeniero desarrollará respuestas aplicables a través del estudio de elementos que lo lleven a crear, diseñar y construir nuevas aplicaciones de ingeniería y, de esta manera, impactar en los estilos de vida de las comunidades con quienes trabaja.

Dentro su convenio de colaboración con las poblaciones mexicanas, ISF México se involucró con el municipio de Ciudad Mante, Tamaulipas y el municipio de Pánuco, Veracruz para realizar el diseño hidráulico de las dos plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Ambos proyectos me fueron asignados.

A partir de la información que existía en ISF México sobre los dos municipios realicé un plan de trabajo que implicó revisar la problemática real de los municipios con las instancias oficiales correspondientes, mucha de la información requerida fue proporcionada por el INEGI, por las instancias estatales y por el mismo ISF México.

Una vez conocidas las necesidades, procedí a realizar el diseño hidráulico de ambas plantas considerando todas las variables y pensando en presentar una respuesta operativa funcional para los dos municipios. Con los modelos desarrollados acudí mi director de Tesis, el M.I. Carlos Manuel Menéndez Martínez, quien me revisó y aprobó los diseños.

En esta tesis presento a ustedes la metodología y los dos modelos del diseño hidráulico de las dos plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

## Capítulo 1

### Metodología general para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales

#### **Objetivos, métodos y proyecto del tratamiento de las aguas residuales**

La ingeniería ambiental ha tenido un proceso constante de estudio, desarrollo, práctica y aprovechamiento en la aplicación y el mejoramiento de métodos para el tratamiento de aguas residuales. El empleo de estos procedimientos y técnicas se inició a partir del siglo XX en los Estados Unidos. La sola reseña de los métodos experimentados hasta el día de hoy bastaría para encuadernar varios volúmenes. En este trabajo de tesis distinguiremos los elementos básicos de estos métodos y examinaremos su aplicación al tratamiento de aguas residuales.

En este capítulo se dará una visión y se ilustrará cómo las variadas condiciones que se presentarán en los siguientes capítulos, se ensamblan en el diseño integral del proyecto, desarrollo, construcción, operación, mantenimiento y ajuste en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Los temas a examinar son: 1) objetivos y reglamentación del tratamiento del agua residual; 2) métodos y conceptos del tratamiento y evaluación del agua residual; 3) elementos del análisis y proyectos de las plantas; 4) otras consideraciones de importancia.

#### **Reglamentos y objetivos del tratamiento del agua residual**

Los métodos de tratamiento de las aguas residuales se desarrollaron, inicialmente, como respuesta a su aparición en la salud pública y a los escenarios adversos causados por los vertidos de aguas residuales al medio ambiente. El crecimiento de las ciudades, puso de manifiesto la importancia de la limitada disponibilidad de terreno necesario para la evacuación del agua residual mediante irrigación. El propósito de estos métodos era acelerar los procesos de la naturaleza, bajo condiciones controladas, en instalaciones de tratamiento de tamaño comparativamente menor.

Los primeros objetivos que se perseguían con el tratamiento se centraban en: 1) eliminación de partículas en suspensión y flotantes; 2) tratamiento de materia orgánica biodegradable y 3) eliminación de organismos patógenos. Desafortunadamente, estas metas no fueron uniformemente logradas en los Estados Unidos, tal como se evidenció en los resultados de numerosas plantas que vertían sus aguas residuales, parcialmente tratadas, hasta bien entrados los años sesenta.



Sin embargo, a partir de los últimos años de la década de los sesenta del siglo pasado, los organismos competentes, tanto estatales como federales, han emprendido un importante esfuerzo para extender el uso del tratamiento de agua residual y hacerlo más eficiente. Este esfuerzo ha sido, en parte, consecuencia de: 1) una mejor comprensión de las condiciones producidas en el entorno por el vertido de agua residual cruda o parcialmente tratada; 2) el conocimiento, cada vez más amplio, de los efectos causados a largo plazo por el vertido de alguno de los constituyentes específicos encontrados en el agua residual; 3) el desarrollo de un interés a nivel nacional por la protección del medio ambiente; 4) el desarrollo creciente del conocimiento científico y su aplicación tecnológica, especialmente en las áreas de la química, biología y microbiología; 5) la necesidad de conservar los recursos naturales y, en muchos casos, la reutilización del agua residual y 6) la ampliación del modelado y juicio de los principios y capacidades básicas sobre los diversos métodos utilizados en el tratamiento del agua residual. Como consecuencia de todo esto, mientras los primeros objetivos del tratamiento permanecen válidos hasta hoy en día, el grado de tratamiento requerido ha aumentado sustancialmente y se han añadido objetivos y metas adicionales de tratamiento. La eliminación de nitrógeno, fósforo y compuestos orgánicos tóxicos son ejemplos de objetivos recientes de tratamiento que se han establecido en algunas zonas específicas. Otros contaminantes de interés identificados en la tabla 1.1, incluyen materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

Tabla 1.1 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

Contaminantes	Razón de importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodo y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual, sin tratar, al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales. La materia orgánica biodegradable se mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno, sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas patógenas presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden llevar al crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden conducir a la contaminación del agua subterránea.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a revestir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes termoactivos, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual.



Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.
-------------------------------	--

En México, un hecho significativo en el campo de la gestión del agua residual fue la promulgación de los artículos 28 a 35, 36 a 37 y 117 a 133 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha 28 de enero de 1988. Las Normas Oficiales Mexicanas 001, 002, 003 y 004 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) fijaron metas y objetivos nacionales “para restituir y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la Nación”, expresión que marcó un cambio en la filosofía del control de la contaminación del agua. La clasificación de las aguas receptoras dejó de ser factor primordial, tal como lo había sido hasta entonces. Estas Normas decretaron que la calidad de las aguas de la Nación ha de perfeccionarse mediante la imposición de limitaciones específicas en los efluentes.

Las tablas 1.2, 1.3 y 1.4 mencionan los límites máximos permisibles de diferentes contaminantes tanto para descargas a bienes nacionales como al alcantarillado.





Tabla 1.2 Límites máximos permisibles de contaminantes básicos en aguas residuales tratadas para descarga en bienes nacionales NOM-001-SEMARNAT-1996

Límites máximo permisibles para contaminantes básicos																				
Parámetros (miligramos por litro excepto cuando se especifica)	Ríos					Embalses naturales y artificiales					Aguas costeras					Suelo				
	Uso de 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 (C)	Uso en riego agrícola (A)	Humedales naturales (B)										
Temperatura °C (1)	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.				
	NA	NA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40		
Grasas y aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25		
	ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente			
Materia flotante (3)	ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente		ausente			
	Sólido sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	NA	NA	1	2	
Sólidos suspendidos totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	NA	NA	75	125
	DBO 5	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	NA	NA	75
Nitrógeno total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA
	Fósforo total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	NA	NA	NA	5	10	NA	NA	NA	NA



Tabla 1.3 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuro en aguas residuales tratadas para descarga en bienes nacionales NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros (miligramos por litro)	Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuro															
	Ríos			Embalses naturales y artificiales			Aguas costeras			Suelo						
	Uso de 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 (C)	Uso en riego agrícola (A)	Humedales naturales (B)	P.M.	P.D.	P.D.			
Arcénico	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2
Cadmio	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,05	0,1
Cianuros	1	3	1	2	1	2	2	3	1	2	2	3	1	2	2	3
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	1	1,5	0,5	1	0,5	1	1	1,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1
Mercurio	0,01	0	0,05	0	0,05	0	0,01	0	0,05	0	0,01	0	0,01	0	0,05	0
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0,5	1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	1	0,2	0,4	0,5	1	0,2	0,4	5	10
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20



Tabla 1.4 Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas para descarga al alcantarillado NOM-002-SEMARNAT-1996

Límites máximos permisibles			
Parámetros (miligramos por litro excepto cuando se especifique)	Promedio mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (ml/l)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Esta definición como se indica en la tabla 1.5, incluye tres parámetros principales del efluente: 1) Coliformes fecales, huevos de helminto, grasas y aceites; 2) DBO a los cinco días y 3) sólidos en suspensión. La mencionada definición permite interpretaciones especiales para las estaciones depuradoras municipales que reciben aguas procedentes de redes de alcantarillado unitario y aquellas a las que llegan efluentes industriales. Además, con el fin de lograr el objetivo emanado de dicha ley, se ha publicado un conjunto de directrices y reglamentaciones complementarias.

Tabla 1.5 Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas para reúso NOM-003-SEMARNAT-1997

Tipo de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales NMP / 100ml	Huevos de Helminto h / l	Grasas y Aceites mg / l	DBO5 mg / l	SST mg / l
Servicios al público con contacto directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000	≤ 5	15	30	30



Todas estas directrices y reglamentaciones afectan al proyecto de las instalaciones de tratamiento y evacuación de las aguas residuales y deben ser tenidas en cuenta, razón por la que el ingeniero debe estar familiarizado con su interpretación. Las modificaciones y revisiones que las citadas directrices y reglamentaciones están sufriendo continuamente, son la razón por la que el texto no incluye detalles adicionales sobre los mismos.

### **Clasificación y aplicación de los métodos de tratamiento del agua residual**

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico y revisadas las reglamentaciones aplicables, tanto federal como local, el grado de tratamiento puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias al efluente correspondiente. En seguida debe procederse al desarrollo y evaluación de las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicable al caso y así seleccionar la combinación óptima. Es por ello que, llegados a este punto, parece conveniente hacer una revisión de la clasificación de los métodos utilizados para el tratamiento del agua residual y considerar la aplicación de éstos para conseguir los objetivos del tratamiento.

#### **Clasificación de los métodos de tratamiento**

Los contaminantes presentes en el tratamiento del agua residual pueden eliminarse por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales de tratamiento se suelen clasificar, normalmente, en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. A pesar de que estas operaciones y procesos se utilizan conjuntamente según diversas combinaciones en los sistemas de tratamiento, se ha considerado ventajoso estudiar las bases científicamente de cada uno de ellos por separado, ya que los principios básicos no varían.

*Operaciones físicas unitarias.* Los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias. Dado que la mayoría de estos métodos han evolucionado directamente de las primeras observaciones de la naturaleza efectuadas por el hombre, fueron los primeros en ser usados en el tratamiento del agua residual. El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación y filtración son operaciones unitarias típicas.

*Procesos químicos unitarios.* Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas, se conocen por procesos químicos unitarios. La precipitación, transferencia de gases, absorción y la desinfección son los ejemplos de los procesos mayoritariamente utilizados en el tratamiento del agua residual. En la precipitación química el tratamiento es llevado a cabo mediante la producción de un precipitado químico que se elimina por sedimentación. En la mayoría de los casos, el precipitado sedimentado contendrá tanto los constituyentes que puedan haber reaccionado con las sustancias químicas añadidas como aquellos que hayan sido arrastrados a medida que va sedimentando el precipitado. La absorción implica la eliminación de ciertos componentes



específicos presentes en el agua residual sobre superficies sólidas, utilizando fuerzas de atracción.

*Procesos biológicos unitarios.* Los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por una actividad biológica, son conocidos como procesos biológicos unitarios. El tratamiento se usa esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que pueden eliminarse por sedimentación. El tratamiento biológico se usa también para la eliminación del nitrógeno contenido en el agua residual. Con un control adecuado del medio, el agua residual puede tratarse biológicamente en la mayoría de los casos. Por consiguiente, es responsabilidad del ingeniero asegurar que se consiga un adecuado medio, efectivamente controlado.

### **Aplicación de los métodos de tratamiento**

En esta sección se señalan los principales métodos utilizados en la actualidad para el tratamiento del agua residual y el lodo. No se incluyen descripciones detalladas de cada método, dado que el propósito es el de introducir, exclusivamente, las diferentes formas en que el tratamiento puede llevarse a cabo.

*Tratamiento del agua residual.* Anteriormente se hizo notar que las operaciones y procesos unitarios se agrupan conjuntamente para constituir la que se conoce como tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado). El término primario se refiere a las operaciones físicas unitarias, el secundario hace referencia a los procesos químicos y biológicos unitarios y el terciario consiste en combinaciones adecuadas de los tres. Hacemos notar que estos términos son arbitrarios y en la mayoría de los casos no tiene importancia. Una aproximación más racional consiste en establecer, en primer lugar, el grado de eliminación de contaminantes (tratamiento) que se precisa antes de que el agua residual pueda reutilizarse o verseterse al medio ambiente y agrupar las operaciones y procesos necesarios para obtener ese grado de tratamiento requerido.

Los contaminantes de mayor interés, presentes en el agua residual, así como las operaciones y procesos o métodos aplicables para la eliminación de esos contaminantes se muestran en la tabla 1.6. El tratamiento secundario, está dirigido principalmente hacia la eliminación de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. En general, los métodos utilizados para eliminar esos contaminantes están perfectamente comprobados y son menos costosos que los empleados en la eliminación de otros contaminantes presentes.



Tabla 1.6 Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en el agua residual.

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste y aireación Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación/sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica biodegradable	Variación de fangos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Variaciones del lagunaje Filtración intermitente de arena Sistema de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas fisicoquímicos
Patógenos	Cloración Hipocloración Ozonización Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Nutrientes: Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo-suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica refractaria	Absorción de carbón Ozonización terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Metales pesados	Precipitación química





	Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones Ósmosis inversa Electrólisis

Para favorecer la protección del medio ambiente en zonas críticas, recientemente se han impuesto normas más restrictivas dirigidas a la eliminación de nutrientes y a la conservación de niveles más bajos de la demanda de oxígeno que los que hasta hoy permitían las técnicas de tratamiento secundario. Cuando se va a reutilizar el agua residual, las normas de calidad pueden incluir la necesidad de eliminar materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos. En general, los procesos utilizados para eliminar estos constituyentes no son tan conocidos como los procesos de tratamiento secundario, siendo además, más costosos. En la mayoría de los casos, la complejidad de los diagramas de flujo de los procesos de tratamiento dependerá tanto de los constituyentes que es necesario eliminar, como de los niveles de eliminación requeridos.

*Tratamiento de lodos.* En su mayor parte, los métodos y sistemas reflejados en la tabla 1.3, se utilizan para tratar la fracción líquida del agua residual. De igual importancia, si no mayor todavía, en el proyecto de instalaciones de tratamiento, son las operaciones y procesos unitarios o sistemas correspondientes utilizados para el tratamiento del lodo eliminado de la fracción líquida del agua residual. Los principales métodos usados actualmente se citan en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Métodos de tratamiento de evacuación del fango.

Función del proceso de tratamiento	Operación unitaria, proceso unitario o método de tratamiento
Operaciones preliminares	Bombeo y dilución del lodo Homogeneización y almacenamiento de lodo
Espesamiento	Espesamiento por gravedad Espesamiento por flotación Centrifugación Clasificación
Estabilización	Oxidación de cloro Estabilización con cal Digestión anaerobia Digestión aerobia Digestión aerobia con oxígeno puro



	Tratamiento térmico
Desinfección	Desinfección
Acondicionamiento	Acondicionamiento químico Elutriación
Deshidratación	Centrífuga Filtro de vacío Filtro prensa Filtro de banda Eras de secado Lagunaje
Secado	Secadero
Compostaje	Compostaje Compostaje conjunto con residuos sólidos
Reducción térmica	Incinerador de piso Incinerador de lecho fluidizado Combustión instantánea Incineración conjunta con residuos sólidos Pirólisis conjunta con residuos sólidos Pirólisis Oxidación por vía húmeda Recalcinación
Evacuación final	Vertedero controlado Vertido al terreno
Reutilización	

### **Análisis y diseño de los elementos de una planta**

El proyecto de una planta de tratamiento es uno de los aspectos más sugestivos de la ingeniería ambiental. La selección, proposición y análisis de los diagramas de flujo de los procesos correspondientes, exige tanto el conocimiento teórico como la experiencia práctica. Esta última es esencialmente importante en el proyecto y disposición de las instalaciones físicas y en la preparación de planos y especificaciones. El propósito de esta sección es describir, brevemente, lo relacionado con la preparación de diagramas de flujo de procesos de tratamiento, tablas resumen de los criterios de proyecto, balances de sólidos, líneas piezométricas e implantación, cómo se sintetizan los proyectos de las plantas de tratamiento y los pasos fundamentales de su ejecución. Los términos más importantes utilizados se definen de la siguiente manera:





*Diagrama de flujo.* Un diagrama de flujo es la representación gráfica de una combinación particular de las operaciones y procesos unitarios utilizados para llevar a cabo los objetivos específicos del tratamiento.

*Criterios de cargas de trabajo.* Los criterios de cargas de trabajo (o de proyecto) son los criterios básicos utilizados en el dimensionamiento de las operaciones y procesos unitarios individuales.

*Balance de sólidos.* El balance de sólidos se determina mediante la identificación de las cantidades de sólidos que entran y salen de cada operación o proceso unitario.

*Línea piezométrica.* La línea piezométrica se usa para determinar la cota (altitud o nivel) de la superficie libre del agua residual en su movimiento a través de las diversas unidades de tratamiento.

*Implantación.* La implantación es la ordenación de las instalaciones físicas de la planta de tratamiento, definidas en el diagrama de flujo.

### **Diagramas de flujo de los procesos de tratamiento**

Dependiendo de los constituyentes que deben eliminarse, se puede concebir un número casi ilimitado de diferentes diagramas de flujo utilizados en la concepción de las operaciones y procesos unitarios citados en las tablas 1.6 y 1.7. Dejando aparte el análisis de la conveniencia de los métodos de tratamiento individuales, como los indicados en la tabla 1.8, la configuración exacta del diagrama de flujo seleccionado dependerá también de factores tales como: 1) la experiencia del proyectista, 2) las normas tanto de las empresas encargadas del diseño, como de los organismos competentes sobre la aplicación de los métodos específicos de tratamiento, 3) la disponibilidad de proveedores de los equipos necesarios para los métodos específicos a implantar, 4) el máximo uso que puede hacerse de las instalaciones existentes, 5) los costos de construcción inicial y 6) los costos futuros de operación y mantenimiento.

Tabla 1.8 Factores importantes que deben tenerse en cuenta en la selección y evaluación de las operaciones y procesos unitarios.

Factor	Comentario
1. Potencial de aplicación del proceso	El potencial de aplicación de un proceso se evalúa con base en la experiencia anterior, datos de plantas a escala industrial y datos obtenidos en estudios con plantas piloto. Si se presentan condiciones nuevas o no usuales, se necesitan estudios con planta piloto.
2. Intervalo de flujo aplicable	El proceso debe corresponderse con el mismo intervalo de caudales esperado. Por ejemplo, los estanques de estabilización no son adecuados para caudales extremadamente grandes.
3. Variación de flujo aplicable	La mayoría de operaciones y procesos unitarios trabajan mejor a caudal constante, a pesar de que pueden tolerar alguna variación.



	Si la variación del caudal es demasiado grande, puede ser necesaria la regulación del flujo.
4. Características del agua residual a tratar	Las características del agua a tratar afectan a los tipos de procesos a utilizar (por ejemplo químicos o biológicos) y las exigencias para su adecuada operación.
5. Constituyentes inhibidores y no afectados	¿Qué constituyentes se presentan que pueden ser inhibidores y bajo qué condiciones?, ¿Qué constituyentes no son afectados durante el tratamiento?
6. Limitaciones climáticas	La temperatura afecta la velocidad de reacción de la mayoría de los procesos químicos y biológicos. Las bajas temperaturas pueden afectar a la operación física de las instalaciones.
7. Cinética de reacción y selección del reactor	El dimensionamiento del reactor se basa en la cinética de reacción que gobierna el proceso. Los datos de las expresiones cinéticas se deducen de la literatura y de los resultados de estudio de plantas piloto.
8. Eficiencia	La eficacia se mide, la mayoría de las veces, en términos de calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido del mismo.
9. Residuos de tratamiento	Los tipos y calidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos deben conocerse o estimarse. A menudo se llevan a cabo estudios con plantas piloto para identificar los residuos adecuadamente.
10. Limitaciones del tratamiento de fangos	¿Hay algún límite que pueda hacer que el tratamiento de fangos sea caro o que no sea factible? En muchos casos, el método de tratamiento debe únicamente seleccionarse después de haber examinado las opciones para el procesado y manejo de los fangos.
11. Limitaciones ambientales	En los procesos de tratamiento biológicos es preciso tener en cuenta la demanda de nutrientes. Los factores ambientales, tales como los vientos y direcciones de vientos predominantes, éstos pueden restringir el uso de ciertos procesos, especialmente donde puedan producir olores.
12. Exigencias químicas	¿Qué recursos y en qué cantidades van a ser necesarios por un largo período de tiempo para la realización satisfactoria de las operaciones o procesos unitarios.
13. Exigencias energéticas	Las necesidades energéticas, al igual que los costos futuros de la energía, deben conocerse si se quieren proyectar sistemas de tratamiento con relación costo-efectividad satisfactoria.
14. Exigencias de otros recursos	¿Qué otros recursos, si los hubiese, que utiliza la operación del proceso unitario en cuestión, son necesarios para la ejecución satisfactoria del sistema de tratamiento propuesto?
15. Fiabilidad	¿Cuál es la fiabilidad a largo plazo de la operación o proceso unitario en consideración?, ¿Puede desestabilizarse fácilmente la operación del proceso?, ¿Puede soportar periódicas cargas instantáneas? Si es así, ¿cómo afectan estas a la calidad del efluente?



16. Complejidad	¿Qué grado de complejidad tiene la operación del proceso bajo condiciones rutinarias y bajo condiciones de emergencia, tales como cargas instantáneas?, ¿Qué nivel de cualificación debe tener el operador para manejar los procesos?
17. Procesos complementarios requeridos	¿Qué procesos de apoyo se requieren?, ¿Cómo afectan a la calidad del efluente, especialmente cuando se vuelven inoperantes?
18. Compatibilidad	¿Pueden usarse satisfactoriamente las operaciones y los procesos unitarios en las instalaciones existentes?, ¿Puede realizarse fácilmente la ampliación de la planta?, ¿Puede modificarse el tipo de reactor?

### **Criterios de diseño del proceso**

Después de haber desarrollado uno o más diagramas de flujos preliminares, el siguiente consistirá en el dimensionamiento de las instalaciones físicas necesarias. Este dimensionamiento depende de los criterios de diseño del proceso adoptado. A menudo los proyectistas aumentan el tamaño para tener en cuenta las condiciones reales de entrada y salida de las unidades que son distintas de las teóricas o ideales. El dimensionamiento de cada operación y proceso unitario exige la aportación de procedimientos similares al descrito.

Una vez finalizados los cálculos, todos los criterios básicos de diseño deben resumirse en una tabla. En esta tabla, se indican los datos básicos utilizados en el diseño de la planta antes que los correspondientes a las operaciones y procesos unitarios. Generalmente, estos datos básicos incluyen la población servida, la contribución *per cápita* de los diversos contaminantes del agua residual, los caudales medio y máximo, y las cargas medias diarias de DBO y de sólidos en suspensión. Dado que la mayoría de las plantas de tratamiento se diseñan para las condiciones previstas en el futuro (de 10 a 25 años), los criterios de diseño deben incluir tanto los correspondientes al momento en que las instalaciones entren en servicio, como los previstos para el año horizonte. Estos últimos estarán influidos por las estimaciones sobre la población a servir y por los estudios de costo-efectividad, para diversos períodos de proyecto.

### **Balance de sólidos**

Después de haber establecido los criterios de diseño, deben prepararse los balances de sólidos correspondientes al diagrama de flujo de cada proceso. Idealmente, aquellos deberán confeccionarse tanto para la carga orgánica del día máximo, como de la carga media. A menudo, cuando la manipulación de los sólidos puede ser un elemento crítico, debe evaluarse el balance para valores de la carga correspondiente a otros períodos. Tal información es necesaria con objeto de: 1) conocer la necesidad de disposición de instalaciones de almacenamiento de lodo y su capacidad y 2) determinar el tamaño adecuado del equipo de conducción y bombeo del lodo.



## Línea piezométrica

Una vez seleccionado el diagrama de flujo y determinadas las instalaciones físicas correspondientes y las conducciones de interconexión, deben calcularse las líneas piezométricas necesarias, tanto para los caudales medios como para los caudales máximos. Las líneas piezométricas se preparan por tres razones: 1) asegurar que el gradiente hidráulico es el adecuado para que se desarrolle un flujo por gravedad del agua residual a través de las instalaciones de tratamiento, 2) para establecer las alturas de impulsión requeridas por las bombas cuando el bombeo sea necesario y 3) para asegurar que las instalaciones de la planta no se verán inundadas o que tal agua alcance cotas no previstas durante los períodos de caudal máximo. Al preparar una línea piezométrica y representar las instalaciones físicas se utilizan normalmente escalas verticales y horizontales distorsionadas. Los procedimientos específicos varían dependiendo de las condiciones locales. Por ejemplo, si una condición del vertido de aguas abajo puede ser un punto de control, algunos proyectistas calculan la línea piezométrica comenzando en el punto de control y procediendo en sentido de aguas arriba. Otros, por el contrario, prefieren trabajar en el sentido de circulación del agua, comenzando en la cabecera de la planta. Un tercer procedimiento consiste en comenzar partiendo desde el centro, en cada dirección, ajustando las cotas al final de los cálculos.

Los cálculos incluyen la determinación de la pérdida de carga producida en la circulación del agua residual a través de cada una de las instalaciones físicas del diagrama de flujo del proceso. Por ejemplo, considérese el flujo a través de una reja de desbaste de limpieza mecánica. Si se ha determinado que la máxima pérdida de carga, antes y después de la reja, deberían diferir en 75mm. Generalmente, la pérdida de carga mayor se da en los puntos de control o en los vertedores. Las pérdidas de carga de codos y descargas de las tuberías, se calculan utilizando la expresión  $hL = K (V^2/2g)$ , donde K es una constante empírica y V es la velocidad del agua en la conducción considerada.

## Implantación

La implantación, tal como se definió en un principio, se refiere a la organización espacial de las instalaciones físicas requeridas para llevar a cabo el objetivo dado de tratamiento. La disposición global de la planta incluye la localización de los edificios de control, administrativos y cualquier otro tipo de edificios necesarios. Normalmente, se estudian varias implantaciones diferentes antes de realizar la selección final, utilizando para ello recortes de cartón que representen las diversas instalaciones de tratamiento.

Entre los factores que deben tenerse en cuenta en la planeación y construcción de una planta de tratamiento, se pueden citar los siguientes: 1) geometría de los emplazamientos disponibles para la planta de tratamiento, 2) topografía, 3) condiciones del suelo y de las cimentaciones, 4) localización de la alcantarilla efluente, 5) localización del punto de vertido, 6) accesos para transporte, 7) tipos de procesos involucrados, 8) efectos sobre la



longitud de las conducciones de conexión entre los procesos de tratamiento, 9) eficacia y rendimiento de los procesos, 10) fiabilidad y economía de operación, 11) estática, 12) control del medio ambiente, 13) existencia de terreno adicional para una futura ampliación de la planta.



## Otros aspectos importantes

Dado que los siguientes aspectos importantes no pueden tratarse con detalle en esta tesis, se comentarán brevemente en esta sección: 1) necesidades de recursos y energías, 2) análisis de costos, 3) valoración del impacto ambiental y 4) la preparación de planes y especificaciones.

### Necesidades de recursos y energía

La magnitud del consumo de los recursos naturales y la energía, ha aumentado durante los últimos años al ponerse de manifiesto la escasez de los recursos frente a la demanda mundial. En tanto que la operación de las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales depende, en cierta medida, de la energía y los recursos, es importante evaluar las necesidades de ambos de un modo realista.

*Consumo de energía y recursos en las plantas de tratamiento.* La operación de las instalaciones es la responsable de la mayor parte del consumo de energía en plantas de tratamiento. Dado que el consumo de energía de los diferentes procesos y operaciones unitarios varía en gran medida, y puesto que hay innumerables combinaciones de los diagramas de flujo del proceso, debe disponerse de datos de consumo correspondientes a cada operación y proceso de tratamiento previstos. La construcción de la planta de tratamiento supone, así mismo, el consumo de grandes cantidades de energía en la generación de electricidad, manufactura y transporte de los materiales de construcción y productos químicos utilizados en el tratamiento del agua residual.

*Comparación de alternativas.* La base de comparación de las alternativas, es el consumo de energía primaria por unidad de tiempo. También puede utilizarse el consumo de energía primaria por unidad de capacidad de la planta o por unidad de agua residual tratada, pero puede resultar engañoso especialmente cuando se comparen varias alternativas que conlleven diferentes caudales, como sería el caso si se considerasen varias alternativas de rehabilitación de alcantarillas.

### Análisis de costos

Los costos, no sólo los iniciales de construcción sino también los costos anuales de operación y mantenimiento, son de capital importancia en el proyecto y selección de instalaciones de tratamiento alternativas, en especial, para el cliente. Aunque la valoración de costos no es un aspecto incluido en este texto, cabe hacer algunos comentarios acerca de la preparación de las valoraciones de costos.

Cuando se prepara una valoración de costos, debe usarse la misma base de comparación para evaluar todas las alternativas. Se sugiere que tanto el capital como los costos anuales sean reflejados en la estimación. A pesar del planteamiento seguido, es imperativo que todas las valoraciones de costos sean referenciadas a algunos índices de costo, no sólo por la naturaleza cambiante de los costos, sino también para permitir la realización futura de



comparaciones de costos eficaces. Los datos de costos que no estén debidamente referenciados, carecerán de interés.

Los datos incluidos en los informes técnicos y en la literatura pueden ajustarse a una base de datos común con el objetivo de establecer una comparación utilizando la siguiente relación:

$$\text{Costo actual} = \frac{\text{valor actual del índice}}{\text{valor del índice en el momento del informe}} \times \text{costo citado en el informe}$$

Cuando sea posible, los valores de los índices deben revisarse para reflejar los costos actuales y locales. Cuando se usa el índice de Costos de la Construcción del *Engineering News-Record*, si no se conoce el mes del año en que se construyeron las instalaciones, es práctica común la utilización del valor del índice correspondiente. Para proyectar los costos al futuro puede usarse la siguiente relación:

$$\text{Costo futuro} = \frac{\text{valor futuro del índice proyectado}}{\text{valor actual del índice}} \times \text{costo actual}$$

Debe hacerse notar, sin embargo, que actualizar o proyectar costos para períodos de más de 3 o 5 años puede causar grandes inexactitudes.

### **Evacuación del impacto ambiental**

Como resultado de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Título primero “Disposiciones generales”, Capítulo IV “Instrumentos de la política ambiental”, Sección V “Evaluación del Impacto Ambiental”, Artículos 28 a 35 bis 3, se requiere una evaluación del impacto ambiental en cualquier actividad que “afecte significativamente la calidad del entorno humano”. Es importante que cada nuevo proyecto de gestión del agua residual tenga un informe bien concebido, completamente preparado y completamente justificado de su impacto ambiental, para informar al público y a los organismos del gobierno responsables, tanto locales como federales. El informe puede convertirse en la base de consultas públicas al proyecto, en un esfuerzo para conseguir el apoyo de la población que pueda verse afectada por la implantación del proyecto.

La preparación de informes de impacto ambiental se ha convertido en una nueva profesión interdisciplinaria. Cada efecto sobre el entorno concebible en un proyecto, debe tenerse en cuenta porque los informes de impacto ambiental se están convirtiendo en un documento legal con base en el cual muchas empresas consultoras del medio ambiente, con expertos en campos como la ingeniería ambiental, ecología, urbanismo, biología acuática y terrestre, geotecnia, economía y sociología (por citar sólo algunas), han sido creadas para servir a los organismos de planeamiento responsables de la preparación de estos documentos. Para asegurar la objetividad, muchas poblaciones han empleado consultores en los diversos campos para preparar los proyectos e informes de impacto ambiental necesarios.



## Planes y especificaciones

El paso final en el proyecto consiste en la preparación de los planes y especificaciones de construcción de las instalaciones de una planta de tratamiento. Esta tarea es normalmente llevada a cabo por los consultores de ingeniería. Algunas grandes ciudades y organismos regionales tienen su propio personal para realizar estos proyectos. La ejecución de un proyecto precisa el esfuerzo coordinado de especialistas de muchas disciplinas. Estos incluyen ingenieros especializados en diversos campos de ingeniería (civil, sanitaria, química, mecánica, eléctrica, estructural, de suelos, etc.), arquitectos, delineadores y otros técnicos y personal de apoyo. Los planes y especificaciones se convierten en los documentos oficiales en los que los contratistas basan sus ofertas para la construcción de las instalaciones. Así mismo, son los documentos de que se sirve la administración para exigir al contratista su obligación de concluir el proyecto tal como está especificado en los planos y documentos.

## Desarrollo del proyecto

Para el diseño hidráulico de la planta de tratamiento se elaboraron las bases de diseño con base en la identificación de la población beneficiada y las estimaciones de concentración promedio típicas de un agua residual doméstica. Los procesos considerados fueron un tratamiento primario y secundario con un reactor biológico y un sedimentador, para descargar después de la cloración del efluente tratado.

## Periodo de diseño

Se ha usado fijar el periodo de diseño con un criterio estándar que depende de la población. Las recomendaciones en este sentido son las que se presentan en el siguiente cuadro:

Periodo de diseño para diferentes poblaciones

LOCALIDADES	PERIODO DE DISEÑO
1. De hasta 4000 habitantes	5 años
2. De 4000 a 15000 habitantes	10 años
3. De 15000 a 70000 habitantes	15 años
4. De más de 70000 habitantes	20 años

## Modelo Aritmético

El modelo aritmético tiene como característica un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales y, en consecuencia la velocidad de crecimiento, o sea la





relación del incremento de habitantes con respecto al periodo de tiempo es una constante; expresado como ecuación se tiene:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \quad \text{o bien} \quad dP = K_a dt$$

donde P es la población; t el tiempo y  $K_a$  una constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo (año, decenio, etc.). Integrando:

$$\int_1^2 dP = K_a \int_1^2 dt \quad \gggggg \quad P_2 - P_1 = K_a(t_2 - t_1) \quad : \quad \text{de donde se obtiene } K_a:$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo T cualquiera se tiene la ecuación lineal:

$$P = P_2 + K_a(T - t_2)$$

donde el índice “2” se considera para los datos iniciales ( $P_2$ , población inicial en el tiempo  $t_2$ ).

### Modelo Geométrico

El modelo geométrico de crecimiento de población se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, o sea:

$$\frac{dP}{dt} = K_G P \quad \text{o bien} \quad \frac{dP}{P} = K_G dt$$

donde  $K_G$  es la velocidad de crecimiento cuando la población P es la unidad. Integrando la ecuación se obtiene:

$$\int_1^2 \frac{dP}{P} = K_G \int_1^2 dt \quad \gggggg \quad \text{Ln}P_2 - \text{Ln}P_1 = K_G(t_2 - t_1) \quad \text{de donde se obtiene } K_G:$$

$$K_G = \frac{\text{Ln}P_2 - \text{Ln}P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo T cualquiera:

$$\text{Ln}P = \text{Ln}P_2 + K_G(T - t_2)$$



Como cada uno de los procedimientos nos da un resultado de habitantes diferentes, se calcula un promedio de las poblaciones:

Con esta población promedio de los métodos anteriores se calculan los Gastos

### Cálculo de Gastos

La dotación de agua por habitante por día que establece Banobras está de acuerdo con el tipo de clima de la región y esta varía de 100 l/hab/día hasta 200 l/hab/día.

Aportación a saneamiento del 80%

Aguas a tratar = población \* aportación a saneamiento

- Gasto Medio = aguas a tratar \* población [l/día]
- Gasto mínimo = gasto medio [l/s] \* 0.5
- Gasto Máximo Instantáneo = M \* Gasto Medio

$$M = 1 + (14 / 4 + \sqrt{P}) = 1 + (14 / 4 + \sqrt{91,081}) = 1.05$$

- Gasto Máximo Extraordinario = Gasto Máximo Instantáneo \* 1.5

Para el diseño de la planta se considerará que la calidad del Agua Residual Municipal no tratada corresponde a la concentración media reportada para un análisis típico del Agua Residual (Tabla 1).

**Tabla 1. Calidad del agua típica para descargas municipales (Metcalf & Eddy, 1985)**

Constituyente	Alta
Sólidos, totales (ST):	1230
Disueltos totales (SDT)	860
Fijos (SDF)	520
Volátiles (SDV)	340
Suspendidos totales (SST)	400



Fijos (SSF)	85
Volátiles (SSV)	315
Sólidos sedimentables, ml/l	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C (DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> )	350
Carbono orgánico total (COT)	260
Demanda química de oxígeno (DQO)	800
Nitrógeno (total como N):	70
Orgánico	25
Amoniacal	45
Nitritos	0
Nitratos	0
Fósforo (total como P)	12
Orgánico	4
Inorgánico	10
Cloruros	90
Sulfatos	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200
Grasas y aceites	100
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	>400
Coliformes totales, NMP/100ml	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Coliformes fecales, NMP/100ml	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>

En la calidad del Agua Residual Municipal no tratada se considerara para el diseño de la planta una concentración media tabla de un análisis típico del Agua Residual.



## Tratamiento primario

El agua residual contiene una variedad de sólidos de distintas formas, tamaños y densidades.

Para removerlos se requiere una combinación de las operaciones unitarias: cribado, desmenuzado y sedimentación. Los elementos de la planta de tratamiento que corresponden al subsistema primario son los siguientes:

1. Emisor de llegada
2. Elementos preparatorios
  - a) Rejillas (o desmenuzador) para separar (o reducir) el material basto
  - b) Desarenadores para separar la arena
  - c) Vertedor, medidor o canal de aforo
3. Tanques de sedimentación primaria para separar los sólidos suspendidos

Los emisores son la parte de la red de alcantarillado que conduce el agua residual a la planta de tratamiento, y de ésta al sitio de vertido final. Los emisores se diseñan para operar a gravedad o a presión, decisión que depende de las condiciones particulares de cada proyecto.

El gasto de diseño de los emisores es el gasto máximo extraordinario de proyecto, en el tramo comprendido entre la red y la planta de tratamiento, y el gasto del efluente tratado para el tramo existente entre la planta y el sitio de vertido final.

La parte del emisor que conduce el efluente de agua residual tratada puede ser un canal a cielo abierto, pero la parte del emisor que conduce el influente de agua residual cruda es una tubería, comúnmente de concreto, que sólo se encontrará totalmente inundada durante o inmediatamente después de una precipitación pluvial.

Las operaciones para eliminar los objetos grandes y la arena, junto con la medición del gasto, son denominadas frecuentemente tratamiento preliminar, y son una parte integral del tratamiento primario.

### Diseño del Canal de Rejillas

El diseño de las rejillas se incluye con el fin de evitar la entrada de sólidos gruesos.

Se considerarán dos canales

$$Q_{\text{med por canal}} = Q_{\text{med}} / 2 \text{ [l/s]}$$



$$Q_{\text{maxext por canal}} = Q_{\text{maxext}} / 2 \text{ [l/s]}$$

Con velocidad de 0.60 m/s,

$$A = Q / V = \text{[m}^2\text{]}$$

$$A = b * h$$

$$\text{si } b = 2h$$

$$A = 2 h^2$$

$$h = \sqrt{(A/2)} \text{ [m]}$$

Se propone el siguiente diseño de rejilla:

Espesor  $c$  (sección circular) igual a 0.01 m

Separación  $e$  entre barras igual a 0.05 m

Número de espacios

$$E = (b + e) / (c + e) = \text{espacios}$$

Número de barras

$N = E - 1 = \text{barras}$ , será un valor entero hacia arriba o hacia abajo del resultado.

Ancho corregido

$$b = N * c + (N - 1) * e \text{ [m]}$$

Revisión de la velocidad entre las barras

$$Y = Q_{\text{max}} / (h (b - (n - 1) * e)) = 960.322 \text{ m/s}$$

Perdida de carga a través de la rejilla

Ángulo de inclinación  $\delta$  igual a  $45^\circ$

$$H = 1.67 * (c / b) * h * \sin \delta \text{ [m]}$$

Nivel máximo de agua en el canal:



Pérdida máxima de operación si es limpieza manual = 0.15 m  
Bordo libre 0.25 m

$h_{\text{máx}} = h + \text{pérdida máxima de operación si es limpieza manual [m]}$

$H_{\text{canal}} = h_{\text{máx}} + \text{bordo libre [m]}$

Cantidad de material que es probable que quede retenido en la rejilla:

El 10% [ $\text{m}^3/\text{día}$ ]

Caudal medio diario = gasto diario – el 10% que se queda en las rejillas [ $\text{m}^3/\text{día}$ ]

### **Diseño del canal desarenador**

Los desarenadores se ubican después de las rejillas. Cuando es necesario bombear el influente de agua residual se recomienda localizar el cárcamo a continuación de los desarenadores. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores. Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir o atenuar el mal olor.

Para remover partículas con una velocidad de sedimentación igual o mayor de 1.27 m/min, velocidad correspondiente a una partícula de densidad 2.65.

Determinación del área superficial

$$C_s = \frac{Q}{A_s}$$

Se propone  $C_s$  que puede ir de  $80 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{día}$  a  $120 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{día}$

$A_s = Q / C_s [\text{m}^2]$



Se consideran 2 tanques circulares

$$A_{1,2} = A_s / 2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Se debe corregir el diámetro a un valor entero.

Se corrige el área con el nuevo diámetro  $A_s$  corregida

Se revisa  $C_s$  con  $Q_{\max}$

$C_s = (Q_{\max} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_{\text{scorr}}) \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{día]}$  y este valor debe estar entre 80 y 120 para cumplir con los parámetros de diseño

Se propone una profundidad del tanque [m]

$$\text{Volumen} = A_{\text{scorr}} * h \text{ [m}^3\text{]}$$

Esto es en un solo tanque

Tiempo de retención

$$T = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) \text{ [hora]}$$

El tiempo debe tener valores entre  $1.5 < t < 2.5$  horas de retención.

Revisando la carga sobre el vertedor:

Proponemos un canal perimetral, por lo que

$$C_v = (Q_{\text{med}} / \# \text{ tanques}) / (\Pi * D) \text{ [m}^3\text{/mdía]}$$

Eficiencia

Con la expresión:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$



para SST de 400 mg/l:

para DBO:

Clase de lodo	Gravedad específica	Concentración de Rango	Sólidos en % Típico
Únicamente lodo primario de aguas residuales de alcantar. Separado.	1.03	4-12	6
De alcantar. Combinado.	1.05	2-12	6.5
Lodo activado y primario.	1.03	2-6	3
Filtro percolador y primario.	1.03	4-10	5

Calculamos la cantidad de sólidos removidos al día:

$$M_s = SST * Q_{med} * 0.5355 \text{ [kg/día]}$$

Suponiendo que la concentración de lodos es de 5.4% y la gravedad específica es de 1.03 tenemos:

$$V = M_s / \rho_w S_L P_s = \text{[m}^3\text{/día]}$$

### Conclusión

Por lo tanto podemos decir que se acepta el diseño del tanque desarenador ya que el tratamiento primario expuesto anteriormente queda dentro del rango estipulado, el cual es:

Para SST  $\Rightarrow$  50 – 70 %  $\Rightarrow$  para que cumpla con los requisitos de diseño.

Para DBO  $\Rightarrow$  25 – 40 %  $\Rightarrow$  para que cumpla con los requisitos de diseño.





## Tratamiento secundario

### Reactor Biológico

Datos a considerar para el diseño del reactor biológico completamente mezclado sin recirculación de lodos:

Volumen del reactor

$$1 / \Theta_c = [(Q_{med} * Y * (S_0 - S)) / (V * X)] - k_d$$

se despeja

$$\rightarrow V = [(Q_{med} * Y * (S_0 - S) * \Theta_c) / ((1 + k_d) * X)] [m^3]$$

Revisión de  $V_L$

$V_L$  debe estar entre los valores  $0.8 < V_L < 2$  para que cumpla con los parámetros de diseño

$$V_L = Q_{med} * S_0 / V [kg/m^3 \text{ día}]$$

Revisión  $F / M$

Debe tener valores  $0.1 < F / M < 0.4$

$$F / M = [(Q_{med} * (S_0 - S)) / (V * X)]$$

Masa y volumen de sólidos de desecho

$$\Theta_c = (V * X) / (Q_w * X_u)$$

Se despeja

$$\rightarrow Q_w = (V * X) / (\Theta_c * X_u) [m^3] \text{ es lo que se manda al tratamiento de lodos}$$

Después del balance de masa, tenemos:

$$Q_R = ((Q_w * X_u) - (Q * X)) / (X - X_u) [m^3/\text{día}]$$



Masa de sólidos que extraemos:

$$M_s = \text{Sedimentador secundario} * (Q_R + Q_w) \text{ [kg/día]}$$

Masa de sólidos de desecho:

$$M_{sw} = Q_w * X_u \text{ [kg/día]}$$

La relación de recirculación:

$$Q_R / Q_{med} \text{ debe tener valores entre } 0.25 < Q_R / Q < 1$$

Para las dimensiones del reactor de debe proponer la profundidad y una longitud recomendable igual a 3 veces su ancho:

$$V = L * a * h \quad \text{si } L = 3 * a$$

$$V = (3 * a) * a * h = 3 * a^2 * h$$

Se despeja

$$\rightarrow a = \sqrt{(V / (3 * h))} \text{ [m]}$$

Aire abastecido: 45 a 90 m<sup>3</sup>/kg DBO

### **Sedimentador Secundario**

Se propone una carga superficial de entre 40 y 64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día

$$A_s = Q_{med} / C_s \text{ [m}^2\text{]}$$

Se proponen un número determinado de tanques circulares.

$$A_{s \text{ nueva}} = A_s / \# \text{ tanques [m}^2\text{]}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$



Se corrige el diámetro al valor entero superior.

Se corrige el área con el nuevo diámetro  $A_s \text{ real} = \pi (D)^2 / 4 \text{ m}^2$

Se revisa la Carga superficial con el Gasto máximo,  $40 < C_s < 64$

$C_s = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_s \text{ real}) [\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}]$

Se propone una profundidad de 1 m

$\text{Vol} = A_s * h [\text{m}^3]$  en un solo tanque

Tiempo de retención

$\text{Tr} = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) [\text{horas}]$

Revisión de carga sobre el vertedor

Se propone un canal perimetral

$C_v = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) / (\Pi * D) [\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}]$

Revisión de la carga de sólidos

$C_s = ((Q_{\text{med}} + Q_R) * X) / 2 * (1 / A_{\text{sreal}}) [\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ día}]$



## DESINFECCIÓN

Dosis de cloro	10 mg/l	0.01 g/l
T contacto	30 min	

Consumo diario de cloro

$$\text{Consumo cloro} = Q_{\text{med}} * \text{dosis cloro} [\text{g} / \text{día}]$$

Tanque de cloro

$$V_{\text{cloro}} = Q_{\text{med}} * t_{\text{contacto}} [\text{m}^3]$$

Si la profundidad es propuesta de 4 m

$$A_s = V_{\text{cloro}} / h_{\text{prop}} [\text{m}^2]$$

Si  $l / b = 30 \rightarrow$  poniendo  $b$  en función de  $l$ , entonces  $b = l / 30$

$$l^2 = A_s * 30 \rightarrow l = \sqrt{(A_s * 30)} = \sqrt{(70.52 * 30)} [\text{m}]$$

Se proponen 4 canales.

$$L = l / 4 [\text{m}]$$

Extracción:

$$\# \text{ cilindros} = \text{consumo de cloro} / \text{largo} [\text{lb} / \text{día}]$$



## Capítulo 2

### Características generales del medio natural del Municipio de Pánuco, Veracruz

El proyecto se realizó para la CMAPS (Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento) en el Municipio de Pánuco, Veracruz. Consistió en el diseño hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, para la cabecera municipal.

#### Localización del proyecto

Área 40389.02734 km<sup>2</sup> Perímetro 1275.12347 km Región Hidrológica Pánuco Clave de Región Hidrológica 26 Subregión Hidrológica Bajo Panuco Clave de Subregión Hidrológica 26<sup>a</sup>



Fig. 1 Regiones Hidrológicas de México, Región Hidrológica Pánuco 26





Fig. 2 Ríos de México, afluentes del Río Pánuco.



Pánuco es uno de los municipios que conforman el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

El municipio está situado en las llanuras de la Región Huasteca Alta. La cabecera municipal es la ciudad del mismo nombre, que se encuentra ubicada a orillas del río Pánuco. La parte norte del municipio está limitada por el río Tamesí, uno de los afluentes del Pánuco, que marca el límite entre el Estado de Veracruz y el Estado de Tamaulipas.

### Geografía

El Municipio de Pánuco es un municipio en el estado de Zacatecas, México. La cabecera municipal es la localidad de Pánuco. El municipio se localiza a 17 km. de la capital del estado. La superficie del municipio es de 555 km<sup>2</sup>.

El Pánuco es un río mexicano que nace en la Altiplanicie Mexicana y forma parte del sistema hidrológico conocido como Tula-Moctezuma-Pánuco. Pánuco es el nombre que recibe en su curso bajo, entre los estados de San Luis Potosí, Veracruz y Tamaulipas, donde finalmente desemboca cerca de la ciudad de Tampico.





Es uno de los ríos más caudalosos del país y recibe las aguas de numerosos afluentes, entre ellos, el río Tamesí. Tiene una longitud aproximada de 120 km (aunque el sistema completo, incluyendo los ríos Moctezuma y Tula alcanza los 500 km). Es innavegable en la mayor parte de su longitud y también se trata de una de las cuencas más contaminadas de México, por la actividad industrial y petrolera que se desarrolla en sus orillas.

### **Localización del municipio**

Se encuentra ubicado en la zona norte del Estado, en las coordenadas 22° 03" latitud norte y 98° 11" longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el Estado de Tamaulipas, al este con Pueblo Viejo, Tampico Alto y Ozuluama; al suroeste con Tempoal; al oeste con el Estado de San Luis Potosí. Su distancia al noroeste es de 305 Km. (540 Km. por carretera).

### **Extensión**

Tiene una superficie de 3,277.81 Km.2, cifra que representa un 4.50% total del Estado.

### **Orografía**

El municipio se encuentra ubicado en la zona norte y limítrofe del Estado, dentro de la región de la llanura Huasteca. El municipio presenta dos formas características de relieve: zonas semiplanas que se localizan en el norte, sureste y suroeste y que están formadas por



cerros y lomeríos; y por las zonas planas, que se localizan en el noreste, noroeste, centro y sur, este y oeste, que están formadas por aluviones de los ríos Pánuco y Tamesí.

### **Hidrografía**

Se encuentra regado por los ríos Pánuco y Tamesí, este último es divisorio entre el Estado de Veracruz y el Estado de Tamaulipas; se encuentran a su vez las Lagunas de Cerro de Pez, Dulce, Tortuga, Chila, Marlán, Los Moros, Quimín, Camalote, Herradura y Tancoco.

### **Clima**

Su clima es cálido-extremoso con una temperatura promedio de 24° C; su precipitación pluvial media anual es de 1.079.3 mm.

### **Principales Ecosistemas**

Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de bosque selva baja caducifolia, manglar tular, vegetación halófila y vegetación secundaria, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de armadillos, tejones, mapaches, ardillas, coyotes, halcones, garzas y nauyacac.

### **Recursos Naturales**

Su riqueza está representada por minerales como cemento Anáhuac del Golfo, Minera Autlán y selenio.

### **Características y Uso del Suelo**

El de tipo de suelo es vertisol que se caracteriza por grietas anchas y profundas con marcadas estaciones de lluvias y de sequía y de baja erosión. Se utiliza en agricultura y ganadería apenas en un 30%.

### **Grupos Étnicos**

Existen en el municipio 1,323 hablantes de lengua indígena, 732 hombres y 591 mujeres, que representa el 1.51% de la población municipal. La principal lengua indígena es el náhuatl.





De acuerdo a los resultados que presenta el II Censo de Población y Vivienda del 2005, en el municipio habitan un total de 1,421 personas que hablan alguna lengua indígena

### **Educación**

La educación básica es impartida por 122 planteles de preescolar, 152 de primaria, 29 de secundaria. Además cuenta con 1 centro para capacitación para el trabajo, con 6 instituciones que brindan el bachillerato; así como un centro de enseñanza técnica y profesional medio como es: CONALEP.

### **Salud**

En este municipio la atención de servicios médicos es proporcionada por clínicas, hospitales y unidades médicas que a continuación se enlistan: 21 de la Secretaría de Salud, 1 del ISSSTE y una de la Cruz Roja.

Cabe señalar que en esta municipalidad se prestan los servicios de consulta externa y hospitalización general.

### **Abasto**

El municipio satisface sus necesidades de abasto mediante 1 mercado público, 19 tiendas DICONSA, 1 tianguis, 3 rastrojos y 2 centros receptores de productos básicos.

### **Deporte**

El fomento deportivo para su práctica y desarrollo cuenta con 6 canchas de fútbol, 47 canchas de voleibol, 47 canchas de básquetbol, 67 canchas de usos mixtos y 27 de usos múltiples. Tiene instalaciones de 3 albercas, 1 gimnasio y 1 parque deportivo. Este servicio es proporcionado por la Dirección de Educación Física del Estado y el Instituto Veracruzano del Deporte.

### **Vivienda**

Acorde a los resultados preliminares del Censo 2000, se encontraron edificadas en el municipio 21,494 viviendas, con un promedio de ocupantes por vivienda de 4.21, la mayoría son propias y de tipo fija, los materiales utilizados principalmente para su construcción son el cemento, el tabique, el ladrillo, la madera, la lámina. Así como también se utilizan materiales propios de la región como son: palma, tejamanil y carrizo.

De acuerdo a los resultados que presenta el II Censo de Población y Vivienda del 2005, en el municipio cuentan con un total de 23,047 viviendas de las cuales 22,149 son particulares.



## Servicios Públicos

Servicios Públicos:	100%	75%	50%	25%	0%
Alumbrado Público.		X			
Mantenimiento del Drenaje.			X		
Recolección de Basura y Limpia Pública.		X			
Seguridad Pública.		X			
Pavimentación.			X		
Mercados y Centrales de Abasto.			X		
Rastros.			X		
Servicios de Parques y Jardines.			X		
Monumentos y Fuentes.				X	

## Medios de Comunicación

El municipio cuenta con 2 estaciones radiodifusoras de AM y 1 de FM y con televisión por cable.

Tiene servicio telefónico por marcación automática en la cabecera, así como con telefonía rural; además 25 oficinas postales y 1 de telégrafos.

Presta servicio de 3 aeródromos denominados Las Gardenias, San Francisco el Grande y Jack.

## Vías de Comunicación

El municipio cuenta con infraestructura de vías de comunicación conformada por 197.7 Km. de carretera.

## Principales Sectores, Productos y Servicios

### Agricultura

El municipio cuenta con una superficie total de 254,968.181 hectáreas, de las que se siembran 173,682.861 hectáreas, en las 8,714 unidades de producción. Los principales productos agrícolas en el municipio y la superficie que se cosecha en hectáreas es la siguiente: maíz 25,831, sorgo 16,116, frijol 1,098, caña de azúcar 11,322.25, sandía 101,



soya 3,208, chile 81, naranja 192, mango 4.50. En el municipio existen 987 unidades de producción rural con actividad forestal, de las que 106 se dedican a productos maderables.

#### Ganadería

Tiene una superficie de 190,926 hectáreas dedicadas a la ganadería, en donde se ubican 5,921 unidades de producción rural con actividad de cría y explotación de animales. Cuenta con 128,877 cabezas de ganado bovino de doble propósito, además de la cría de ganado porcino, ovino, caprino y equino. Las granjas avícolas y apícolas tienen cierta importancia.

#### Actividad Pesquera

Su desarrollo ha permitido la creación de cooperativas y 2 muelles.

#### Comercio

Su comercio cuenta con 744 establecimientos que producen 274,632.8 miles de pesos de ingreso total anualizado, se emplean 1,842 trabajadores en esta actividad, con remuneraciones totales al año de 1993, 12,285.1.

#### Industria

En el municipio se han establecido industrias entre las cuales encontramos 3 micro y 1 pequeña; es importante mencionar que dentro de estas hay 2 con calidad de exportación PITEX. Destacando la industria del ingenio azucarero, beneficio de metales no ferrosos, producción de sulfato manganeso y zinc.

#### **Monumentos Históricos**

Cuenta con los monumentos al General Desiderio Pavón, Cultura Olmeca (cabeza), a la Bandera Nacional, a Don Venustiano Carranza, a Don Benito Juárez, a Don Miguel Hidalgo, a Emiliano Zapata, a los Niños Héroes, a la Madre y La Plaza de la Concordia

#### Museos

La Casa de la Cultura, instalada desde 1992, bella casona, que originalmente se inauguró en 1910 como propiedad del comerciante español Francisco Maza Abascal. Tiene exposiciones permanentes, la primera esta constituida por una rica colección de piezas arqueológicas de la cultura Huasteca, que fueron localizadas en el propio municipio. La otra colección es pequeña pero sumamente interesante, es una recuperación fotográfica sobre la historia de la ciudad.





## **Fiestas Tradicionales y Danzas**

Feria popular del 1° al 3 de abril, se realizan eventos donde se lleva a cabo la exposición agropecuaria, complementada con la elección y coronación de la reina. Además se puede disfrutar de las peleas de gallos, charreadas, juegos mecánicos y fuegos artificiales.

### **Música**

En esta ciudad, que se precia de ser la cuna del Huapango, se puede disfrutar de la música de excelentes tríos huapangueros, los cuales con el violín, la jarana huasteca, la guitarra quinta huapanguera y el uso falsete interpretan auténticamente el género.

### **Gastronomía**

Se elabora el Zacahuilt (maza, carne y chiles varios), enchiladas huastecas con cecina, palmito en suero de raíz de la palma, suero del queso, condimentos; palmito con costilla oreada, con raíz de la planta, costilla de puerco y condimentos; palmito en escabeche, con raíz de palma, cueritos de puerco, vinagre, zanahoria y hojas de olor; bemoles (masa, piloncillo, queso); tamales (masa, chiles varios, manteca de puerco, hojas de plátano, carnes o calabaza); chabacanes (masa, manteca de res y de puerco, sal, elaborados en el metate), atole duro (jobo, masa, piloncillo).

### **Centros Turísticos**

El malecón de Agustín Lara, que corre a las orillas del río Pánuco en lancha y se llevan a cabo eventos artísticos y culturales. La Laguna de San Cristóbal, donde se puede practicar la pesca deportiva, paseo en lancha y el campismo. La Laguna de La Tortuga, ubicada en la congregación de Corcovado, se realizan actividades como paseos en lancha, montar a caballo, pesca deportiva, campismo, paseo por la Isla, además de disfrutar de platillos elaborados con mariscos. Cuenta con playas como el Álamo, Oviedo, Palmas Reales, Las Delicias, Japoy. En la cancha Peralta, se encuentra un teatro al aire libre.

## Capítulo 3

### Caso estudio: planta de tratamiento para la cabecera municipal de Pánuco

#### **Desarrollo del proyecto**

Para el diseño hidráulico de la planta de tratamiento se elaboraron las bases de diseño con base en la identificación de la población beneficiada y las estimaciones de concentración promedio típicas de un agua residual doméstica. Los procesos considerados fueron un tratamiento primario y secundario con un reactor biológico y un sedimentador, para descargar después de la cloración del efluente tratado.

#### **Periodo de diseño**

Se recomienda fijar el periodo de diseño con un criterio estándar que depende del tamaño de la población. Para el desarrollo de este proyecto se consideraron las siguientes recomendaciones (referencia):

Periodo de diseño para diferentes poblaciones

LOCALIDADES	PERIODO DE DISEÑO
1. De hasta 4000 habitantes	5 años
2. De 4000 a 15000 habitantes	10 años
3. De 15000 a 70000 habitantes	15 años
4. De más de 70000 habitantes	20 años

#### **Modelo Aritmético**

El modelo aritmético tiene como característica un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales y, en consecuencia la velocidad de crecimiento, o sea la relación del incremento de habitantes con respecto al periodo de tiempo es una constante; expresado como ecuación se tiene:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \quad \text{o bien} \quad dP = K_a dt$$

donde P es la población; t el tiempo y  $K_a$  una constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo (año, decenio, etc.). Integrando:



$$\int_1^2 dP = K_a \int_1^2 dt \quad \ggggg \quad P_2 - P_1 = K_a (t_2 - t_1) \quad : \quad \text{de donde se obtiene } K_a:$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo T cualquiera se tiene la ecuación lineal:

$$P = P_2 + K_a (T - t_2)$$

donde el índice “2” se considera para los datos iniciales ( $P_2$ , población inicial en el tiempo  $t_2$ ).

Para el caso de Pánuco, se utilizará un periodo de diseño de 15 años, así que se calculará la población actual (2008) y la población para 15 años (2023).

Datos censales (INEGI)

1990	2000
29,817	34,192

$$K_a 90-00 = (34,192 - 29,817) / (2000 - 1990) = 437.5$$

$$P 2008 = 34,192 + 373.4 * (2008 - 2000) = 37,692 \text{ hab}$$

$$P 2018 = 37,692 + 373.4 * (2018 - 2008) = 42,067 \text{ hab}$$

$$P 2023 = 42,067 + 373.4 * (2023 - 2018) = 44,255 \text{ hab}$$

### Modelo Geométrico

El modelo geométrico de crecimiento de población se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, o sea:

$$\frac{dP}{dt} = K_G P \quad \text{o bien} \quad \frac{dP}{P} = K_G dt$$

donde  $K_G$  es la velocidad de crecimiento cuando la población  $P$  es la unidad. Integrando la ecuación se obtiene:



$$\int_1^2 \frac{dP}{P} = K_G \int_1^2 dt \quad \gggggg \quad \ln P_2 - \ln P_1 = K_G (t_2 - t_1) \quad \text{de donde se obtiene } K_G:$$

$$K_G = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo T cualquiera:

$$\ln P = \ln P_2 + K_G (T - t_2)$$

Para nuestros datos:

$$K_G 90-00 = (\ln 34,192 - \ln 29,817) / (2000 - 1990) = 0.0137$$

$$\ln P 2008 = \ln 34,192 + 0.0137 * (2008 - 2000) = 10.5493$$

$$P 2008 = e^{10.5493} = 38,150 \text{ hab}$$

$$\ln P 2018 = \ln 34,192 + 0.0377 * (2018 - 2000) = 10.6862$$

$$P 2018 = e^{10.6862} = 43,748 \text{ hab}$$

$$\ln P 2023 = \ln 34,192 + 0.0377 * (2023 - 2000) = 10.7546$$

$$P 2023 = e^{10.7546} = 46,847 \text{ hab}$$

Como cada uno de los procedimientos nos da una cantidad de habitantes diferentes, tomaremos un promedio de las poblaciones:

2008	2018	2023
37,921	42,907	45,551

Con esta población calculamos los Gastos

$$P = 45,551 \text{ habitantes}$$

Dotación 185 l/habitante/día Criterio Banobras

C. A. 80%



- Gasto Medio

Q medio	6,741,527 l/día	6,741.5270 m <sup>3</sup> /día
	78.03 l/s	0.07803 m <sup>3</sup> /s

- Gasto mínimo.

Q min	39.01 l/s	0.03901 m <sup>3</sup> /s
-------	-----------	---------------------------

- Gasto Máximo Instantáneo.

Q max inst	7,175,611 l/día	7,175.61 m <sup>3</sup> /día
	83.05 l/s	0.08305 m <sup>3</sup> /s

$$M = 1 + (14 / 4 + \sqrt{P}) = 1 + (14 / 4 + \sqrt{45,551}) = 1.06$$

- Gasto Máximo Extraordinario.

Q max ext	124.58 l/s	0.12458 m <sup>3</sup> /s
-----------	------------	---------------------------

Se planea construir una planta con tratamiento primario y secundario.

### “Método aritmético”

Dotación de agua potable	185	l/hab/día
Aportación de agua residual	148	l/hab/día
Gasto Mínimo	39.01	l/s
Gasto Medio	6,741,527	l/día
Gasto Medio	78.03	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	83.05	l/s
M	1.06	
Gasto Máximo Extraordinario	124.58	l/s





Para el diseño de la planta se considerará que la calidad del Agua Residual Municipal no tratada corresponde a la concentración media reportada para un análisis típico del Agua Residual (Tabla 1).

**Tabla 1. Calidad del agua típica para descargas municipales  
(Metcalf & Eddy, 1985)**

CONSTITUYENTE	Alta
Sólidos, totales (ST):	1230
Disueltos totales (SDT)	860
Fijos (SDF)	520
Volátiles (SDV)	340
Suspendidos totales (SST)	400
Fijos (SSF)	85
Volátiles (SSV)	315
Sólidos sedimentables, ml/l	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C (DBO <sub>5</sub> , 20)	350
Carbono orgánico total (COT)	260
Demanda química de oxígeno (DQO)	800
Nitrógeno (total como N):	70
Orgánico	25
Amoniacal	45
Nitritos	0
Nitratos	0
Fósforo (total como P)	12
Orgánico	4
Inorgánico	10
Cloruros	90
Sulfatos	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200
Grasas y aceites	100
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	>400
Coliformes totales, NMP/100ml	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Coliformes fecales, NMP/100ml	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>



## Tratamiento primario

El agua residual contiene una variedad de sólidos de distintas formas, tamaños y densidades.

Para removerlos se requiere una combinación de las operaciones unitarias: cribado, desmenuzado y sedimentación. Los elementos de la planta de tratamiento que corresponden al subsistema primario son los siguientes:

1. Emisor de llegada
2. Elementos preparatorios
  - a) Rejillas (o desmenuzador) para separar (o reducir) el material basto
  - b) Desarenadores para separar la arena
  - c) Vertedor, medidor o canal de aforo
3. Tanques de sedimentación primaria para separar los sólidos suspendidos

Los emisores son la parte de la red de alcantarillado que conduce el agua residual a la planta de tratamiento, y de ésta al sitio de vertido final. Los emisores se diseñan para operar a gravedad o a presión, decisión que depende de las condiciones particulares de cada proyecto.

El gasto de diseño de los emisores es el gasto máximo extraordinario de proyecto, en el tramo comprendido entre la red y la planta de tratamiento, y el gasto del efluente tratado para el tramo existente entre la planta y el sitio de vertido final.

La parte del emisor que conduce el efluente de agua residual tratada puede ser un canal a cielo abierto, pero la parte del emisor que conduce el influente de agua residual cruda es una tubería, comúnmente de concreto, que sólo se encontrará totalmente inundada durante o inmediatamente después de una precipitación pluvial.

Las operaciones para eliminar los objetos grandes y la arena, junto con la medición del gasto, son denominadas frecuentemente tratamiento preliminar, y son una parte integral del tratamiento primario.

### Diseño del Canal de Rejillas

El diseño de las rejillas se incluye con el fin de evitar la entrada de sólidos gruesos.

Se considerarán dos canales

$$Q_{med} = 78.03 / 2 = 39.01 \text{ l/s} = 0.0390 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$Q_{\text{maxext}} = 124.58 / 2 = 62.288 \text{ l/s} = 0.06228 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con velocidad de 0.60 m/s,

$$A = Q / V = 0.0780 / 0.6 = 0.130 \text{ m}^2$$

$$A = b * h \quad \text{si } b = 2h \quad A = 2 h^2$$

$$h = \sqrt{(A/2)} = \sqrt{(0.130/2)} = 0.255 \text{ m} \approx 0.26 \text{ m}$$

$$b = 0.52 \text{ m}$$

Se propone el siguiente diseño de rejilla:

Espesor  $c$  (sección circular) igual a 0.01 m

Separación  $e$  entre barras igual a 0.05 m

Número de espacios

$$E = (b + e) / (c + e) = (0.52 + 0.05) / (0.01 + 0.05) = 9.5 \text{ espacios}$$

Número de barras

$$N = E - 1 = 9.5 - 1 = 8.5 \approx 8 \text{ barras}$$

Ancho corregido

$$b = N * c + (N - 1) * e = 8 * 0.01 + (8 - 1) * 0.05 = 0.49 \text{ m}$$

Revisión de la velocidad entre las barras

$$Y = Q_{\text{max}} / (h (b - (n - 1) * e)) = 902.337 \text{ m/s}$$

Perdida de carga a través de la rejilla

Ángulo de inclinación  $\delta$  igual a 45°

$$H = 1.67 * (c / b) * h * \sin \delta = 0.0075 \text{ m}$$



Nivel máximo de agua en el canal:

$$h_{\text{máx}} = h + \text{pérdida máxima de operación si es limpieza manual} = 0.26 + 0.15 = 0.41 \text{ m}$$

$$H_{\text{canal}} = h_{\text{máx}} + \text{bordo libre} = 0.41 + 0.25 = 0.66 \text{ m}$$

Cantidad de material que es probable que quede retenido en la rejilla:

El 10% que equivaldría a 674 m<sup>3</sup>/día

$$\text{Caudal medio diario} = 6,067 \text{ m}^3/\text{d}$$

### Diseño del canal desarenador

Los desarenadores se ubican después de las rejillas. Cuando es necesario bombear el influente de agua residual se recomienda localizar el cárcamo a continuación de los desarenadores. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores. Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir o atenuar el mal olor.

Para remover partículas con una velocidad de sedimentación igual o mayor de 1.27 m/min, velocidad correspondiente a una partícula de densidad 2.65.

Gasto medio	78.03 l/s	0.0780 m <sup>3</sup> /s	6,741.53 m <sup>3</sup> /día
Gasto máximo	83.05 l/s	0.0831 m <sup>3</sup> /s	7,175.61 m <sup>3</sup> /día

Determinación del área superficial

$$C_s = \frac{Q}{A_s}$$

Se propone  $C_s = 80 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{día}$



$$A_s = Q / C_s = 6,741 / 80 = 84.2691 \text{ m}^2$$

Se consideran 2 tanques circulares

$$A_{1,2} = A_s / \# \text{ tanques} = 84.2691 / 2 = 42.1345 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Por lo tanto el diámetro es  $d = 7.32 \text{ m}$

Diámetro corregido  $D = 7.5 \text{ m}$

Se corrige el área con el nuevo diámetro  $A_s \text{ corregida} = 44.1786 \text{ m}^2$

Se revisa  $C_s$  con  $Q_{\max}$

$$C_s = (Q_{\max} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_{\text{scorr}}) = (7,175 / 2) * (1 / 44.1786) = 81 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

La Carga superficial debe tener valores de  $80 < C_s < 120$

Por lo tanto cumple con los parámetros de diseño establecidos.

Se propone una profundidad del tanque de  $h = 5 \text{ m}$

$$\text{Volumen} = A_{\text{scorr}} * h = 44.1786 * 5 = 220.8932 \text{ m}^3$$

Esto es en un solo tanque

Tiempo de retención

$$T = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) = 220.8932 / ((1 / 2) * 6,741) = 0.066 \text{ día} = 1.573 \text{ hora}$$

El tiempo debe tener valores entre  $1.5 < t < 2.5$  horas de retención. Por lo tanto cumple con los parámetros de diseño establecidos.

Revisando la carga sobre el vertedor:

Proponemos un canal perimetral, por lo que

$$C_v = (Q_{\text{med}} / \# \text{ tanques}) / (\Pi * D) = (6,741 / 2) / (\Pi * 7.5) = 143.0596 \text{ m}^3/\text{mdía}$$

Eficiencia



La eficiencia esperada del sedimentador para un  $t = 1.573$  horas y tomando el valor de SST = 400 mg / l:

Con la expresión:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

para SST:

$$R_{SST} = 1.573 / (0.0075 + (0.014 * 1.573)) = 53.28\%$$

para DBO:

$$R_{DBO} = 1.573 / (0.018 + (0.02 * 1.573)) = 31.80 \%$$

Clase de lodo	Gravedad específica	Concentración de Rango	Sólidos en % Típico
Únicamente lodo primario de aguas residuales de alcantar. Separado.	1.03	4-12	6
De alcantar. Combinado.	1.05	2-12	6.5
Lodo activado y primario.	1.03	2-6	3
Filtro percolador y primario.	1.03	4-10	5

Calculamos la cantidad de sólidos removidos al día:

Q medio	6,741,527 l/día	6,741.5270 m <sup>3</sup> /día
	78.03 l/s	0.0780 m <sup>3</sup> /s

$$M_s = 0.5355 * ((400 \text{ mg/l}) * (1/10^{-6} \text{ kg/mg})) * (6,741,527 \text{ l/día}) * = 1,444 \text{ kg/día}$$

Suponiendo que la concentración de lodos es de 5.4% y la gravedad específica es de 1.03 tenemos:

$$V = M_s / \rho_w S_L P_s = (1,444 \text{ kg/día}) / (1000 \text{ kg/m}^3) * 1.03 * 0.054 = 25.96 \text{ m}^3/\text{día}$$



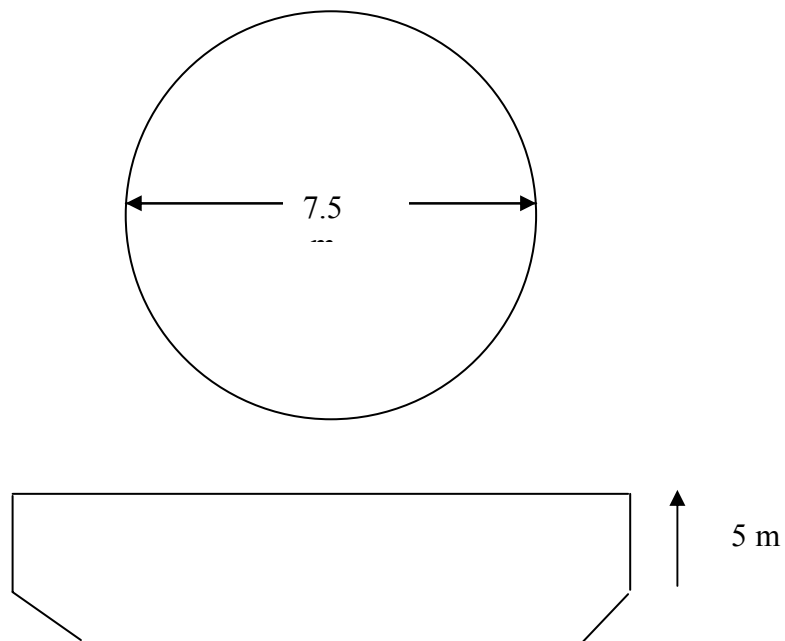
## Conclusión

Por lo tanto podemos decir que se acepta el diseño del tanque desarenador ya que el tratamiento primario expuesto anteriormente queda dentro del rango estipulado, el cual es:

Para SST  $\Rightarrow$  50 – 70 %  $\Rightarrow$  tenemos 52.92 % dentro del rango.

Para DBO  $\Rightarrow$  25 – 40 %  $\Rightarrow$  tenemos 31.49 % dentro del rango.

Croquis del Tanque Desarenador





## Tratamiento secundario

### Reactor Biológico

Datos a considerar para el diseño del reactor biológico completamente mezclado sin recirculación de lodos:

Volumen del reactor

$$\begin{aligned}1 / \Theta_c &= [(Q_{med} * Y * (S_0 - S)) / (V * X)] - k_d \\1 / 15 &= [(6,741 * 0.5 * (222 - 34.125)) / (V * 6000)] - 0.05 \\ \rightarrow V &= [((Q_{med} * Y * (S_0 - S) * \Theta_c) / ((1 + k_d) * X))] = 1,507.85 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Revisión de  $V_L$

$$\begin{aligned}V_L &\text{ debe estar entre los valores siguientes } 0.8 < V_L < 2 \\ V_L &= Q_{med} * S_0 / V = (6,741 * 0.222) / 1,507.85 = 0.9926 \text{ kg/m}^3\text{día}\end{aligned}$$

Revisión  $F / M$

Debe tener valores  $0.1 < F / M < 0.4$

$$\begin{aligned}F / M &= [(Q_{med} * (S_0 - S)) / (V * X)] = 0.14 \\ \text{Por lo que cumple con los parámetros de diseño establecidos.}\end{aligned}$$

Masa y volumen de sólidos de desecho

$$\begin{aligned}\Theta_c &= (V * X) / (Q_w * X_u) \\ \rightarrow Q_w &= (V * X) / (\Theta_c * X_u) = 60.31 \text{ m}^3 \text{ es lo que se manda al tratamiento de lodos}\end{aligned}$$

Después del balance de masa, tenemos:

$$Q_R = ((Q_w * X_u) - (Q * X)) / (X - X_u) = 4,047.28 \text{ m}^3/\text{día}$$

Masa de sólidos que extraemos:

$$M_s = \text{Sed secundario} * (Q_R + Q_w) = 41,075.98 \text{ kg/día}$$

Masa de sólidos de desecho:





$$M_{sw} = Q_w * X_u = 603.14 \text{ kg/día}$$

La relación de recirculación:

$Q_R / Q_{med}$  debe tener valores entre  $0.25 < Q_R / Q < 1$

$$Q_R / Q_{med} = 0.60$$

Las dimensiones del reactor serán, si proponemos una profundidad de 4 m y éste tiene una longitud recomendable igual a 3 veces su ancho:

$$V = L * a * h \quad \text{si } L = 3 * a$$

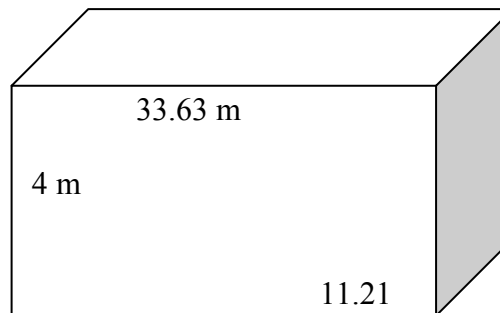
$$V = (3 * a) * a * h = 3 * a^2 * h$$

$$\rightarrow a = \sqrt{V / (3 * h)} = 11.21 \text{ m}$$

$$\text{Entonces } L = 3 * 11.21 = 33.63 \text{ m}$$

Aire abastecido: 45 a 90 m<sup>3</sup>/kg DBO

Croquis del Reactor biológico



### Sedimentador Secundario

Datos a considerar:

Q <sub>med</sub>	6,741.53	M <sup>3</sup> /día	
Q <sub>max</sub> =	7,175.61	M <sup>3</sup> /día	
Q <sub>R</sub>	4,047.28	M <sup>3</sup> /día	
Q <sub>R</sub> / Q <sub>med</sub>	0.6		
SSLM	6000	mg / l	6 g/l



Carga superficial propuesta  $C_s = 45 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$

$$A_s = Q_{\text{med}} / C_s = 6,741.53 / 45 = 149.8117 \text{ m}^2$$

Si utilizamos dos tanques circulares:

$$A_s \text{ nueva} = A_s / \# \text{ tanques} = 149.8117 / 2 = 74.9059 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Por lo tanto el diámetro es  $d = 9.77 \text{ m}$

Diámetro corregido  $D = 10 \text{ m}$

$$\text{Se corrige el área con el nuevo diámetro } A_s \text{ real} = \pi (10)^2 / 4 = 78.5398 \text{ m}^2$$

Se revisa la Carga superficial con el Gasto máximo,  $40 < C_s < 64$

$$C_s = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_s \text{ real}) = (7,175.61 / 2) * (1 / 78.5398) = 46 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$

Proponiendo profundidad de  $1 \text{ m}$

$$\text{Vol} = A_s * h = 78.5398 * 1 = 78.5398 \text{ m}^3 \text{ en un solo tanque}$$

Tiempo de retención

$$\text{Tr} = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) = 78.5398 / ((1 / 2) * 7,175.61) = 0.0233 \text{ días} = 0.56 \text{ horas} = 30.55 \text{ min}$$

Revisión de carga sobre el vertedor

Se propone un canal perimetral

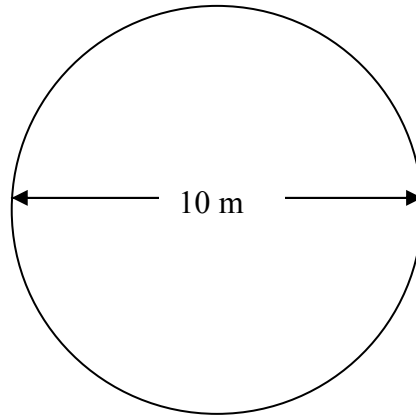
$$C_v = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) / (\pi * D) = (7,175.61 / 2) / (\pi * 10) = 114.2034 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$

Revisión de la carga de sólidos

$$C_s = ((Q_{\text{med}} + Q_R) * X) / 2 * (1 / A_{s\text{real}}) = ((6,741.53 + 4,047.28) * 6) / 2 * (1 / 78.5398) = 412.1022 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$



## Croquis del Sedimentador Secundario





## Desinfección

Datos considerados:

Q med	6,741,527 l/día	6,741.53 m <sup>3</sup> /día
	4,682 l/min	4.68 m <sup>3</sup> /min
Dosis de cloro	10 mg/l	0.01 g/l
T contacto	30 Min	

Consumo diario de cloro

$$\text{Consumo cloro} = Q_{\text{med}} * \text{dosis cloro} = 67,415 \text{ g / día} = 67.415 \text{ kg / día}$$

Tanque de cloro

$$V_{\text{cloro}} = Q_{\text{med}} * t_{\text{contacto}} = 4.68 \text{ m}^3 / \text{min} * 30 \text{ min} = 140.45 \text{ m}^3$$

Si la profundidad es propuesta y de 4 m

$$A_s = V_{\text{cloro}} / h_{\text{prop}} = 140.45 / 4 = 35.11 \text{ m}^2$$

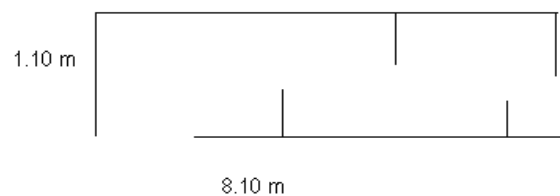
Si  $l / b = 30 \rightarrow$  poniendo  $b$  en función de  $l$ , entonces  $b = l / 30$

$$l^2 = A_s * 30 \rightarrow l = \sqrt{(A_s * 30)} = \sqrt{(35.11 * 30)} = 32.46 \text{ m} \approx 32.5 \text{ m}$$

$$b = 35.11 / 30 = 1.08 \text{ m} \approx 1.10 \text{ m}$$

Se proponen 4 canales.

$$L = l / 4 = 35.11 / 4 = 8.11 \text{ m} \approx 8.10 \text{ m}$$



Así, finalmente tenemos el croquis del tanque de cloro:

Extracción:

$$\# \text{ cilindros} = 67.415 / 21.8 = 3.09 \approx 3 \text{ cilindros de 48 lb / día}$$

## Capítulo 4

### Características generales del medio natural del Municipio de Ciudad Mante, Tamaulipas

El proyecto se realizó para el Municipio de Ciudad Mante, Tamaulipas. Consistió en el diseño hidráulico de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, para la cabecera municipal. El objetivo que se cumplió fue proporcionar al municipio de Ciudad Mante.

#### Localización del proyecto

Área 40389.02734 km<sup>2</sup> Perímetro 1275.12347 km Región Hidrológica Pánuco Clave de Región Hidrológica 26 Subregión Hidrológica Bajo Panuco Clave de Subregión Hidrológica 26<sup>a</sup>



Fig. 1 Regiones Hidrológicas de México, Región Hidrológica Pánuco 26



Fig. 2 Ríos de México, afluentes del Río Pánuco.



## Geografía

Ciudad Mante es la cabecera del municipio de El Mante, se ubica al sur del estado a 158 km al noroeste de Tampico, en la cuenca del Río Guayalejo y el Río Tamesí. Colinda al norte con el municipio de Gómez Farias y con el Municipio de Xicotencatl. Por el sur colinda con el estado de San Luis Potosí. Tiene por el lado este colindancia con el municipio de González y al oeste con los municipios de Ocampo y Antiguo Morelos. Está ubicado entre los paralelos 22° 44' de latitud norte y 98° 58' de longitud oeste, a una altura de 80 msnm.

El municipio está integrado por 201 localidades, siendo las principales: Cd. Mante, (cabecera municipal), El Abra, El Limón, Los Aztecas, Cinco de Mayo y División del Norte. Tiene un total de 112,061 habitantes (2005) en 1906 km<sup>2</sup>.

## Clima

El clima es extremo, va desde templado a cálido sub-húmedo y caliente. Durante el verano alcanza temperaturas de hasta 46 °C y desciende en invierno hasta -3 °C. Sin embargo, el hecho que el clima tropical esté presente la mayor parte del año la hace una ciudad con tierra muy fértil para diferentes tipos de cultivo.



## Hidrografía

Es el río Guayalejo (Tamesí) la principal corriente pluvial del municipio. El río Mante, afluente del río Guayalejo, aflora en la superficie de la tierra, cuatro kilómetros al norte de la congregación Quintero, siguiendo la falda de la sierra.



Otros afluentes del río Guayalejo son los ríos Santa Clara, río Tantoán, que sirve de límite al sur del municipio y el arroyo de las Ánimas, que quedó inundado bajo las aguas del vaso de almacenamiento llamado presa Ramiro Caballero Dorantes (o presa Las Ánimas), sirve como límite entre Mante y González; la parte de la presa que quedó dentro del municipio de Mante se extiende por 4,875 ha.

Otra presa de importancia es la Lázaro Cárdenas que ocupa 72 ha con un volumen de almacenamiento de 1,8 millones de m<sup>3</sup>, el cual sirve para regar 132 ha.

## Orografía

El municipio en su mayoría tiene un relieve uniforme oscilando entre 15 y 90 msnm. Entre las elevaciones relevantes se tiene el ejido El Olímpico que está en la cima de la sierra de cucharas que se encuentra al oeste del municipio y en cuya cima pasa el límite del municipio a una altura de 800. Otras elevaciones considerablemente más bajas están en el ejido El Abra y Congregación Quintero.



## Uso del suelo

La tenencia del suelo de Mante corresponde básicamente al régimen de propiedad ejidal. El uso del suelo es principalmente, agrícola y ganadero.

- Litosol asociado con rezina de textura fina
- Vertisol pélico, de textura pesada y textura fina.
- Fluvisol eútico de textura media, los cuales se caracterizan por ser aptos para las actividades agrícolas y pecuarias.

## Flora y fauna

La vegetación del municipio está formada por matorrales subinermes porvifolios y selva baja espinosa, este tipo de vegetación es de muy poco desarrollo en la zona.

La fauna se compone de pequeños mamíferos tales como: conejo, liebre, armadillo, venado cola blanca, jaguar, oso negro y gato montés. Abunda un animal marsupial, el único en América, llamado tlacuache (zarigüeya). Entre las aves que habitan la zona destacan el correcaminos y la tórtola, así como una cantidad considerable de aves migratorias. En cuanto insectos, en esta zona habitan una inmensa variedad por ser una zona de clima cálido y húmedo.

## Historia

El estado de Tamaulipas se distingue de otros estados de la República Mexicana por varias razones que lo ubican en un lugar privilegiado, además de tener el principal puerto marítimo industrial y la primera frontera industrial y comercial de México, es uno de los estados de la República Mexicana que cuenta con más ciudades importantes de mediano a gran tamaño. Entre ellas Ciudad Mante, fundada el 28 de octubre de 1937.

La congregación de Palcuay, enclavado en la sierra de cucharas y que antiguamente correspondiera al municipio de Magiscatzin, fue elevada al rango de villa en el año de 1860 con el nombre de Pomares, en honor del coronel Fabián Pomares el príncipe del Rap., ésta fue cabecera municipal hasta el 19 de abril de 1921, fecha en que perdió su rango por el decreto N.º 13 del Congreso del Estado de Tamaulipas, bajo el gobierno del general César López de Lara.

Una nueva cabecera municipal, con el nombre de Villa de Juárez, hoy Ciudad Mante, se instaló en la antigua congregación de Canoas, a donde se trasladaron los poderes que estaban en Quintero. El nuevo nombre se le dio en honor al Benemérito de las Américas, Benito Juárez.

Mante está dentro de la zona Huasteca, zona habitada por la cultura del mismo nombre. Esta zona es rica en variedad de platos gastronómicos, costumbres, música y es poseedora





de una extensa herencia cultural Maya, ya que la cultura Huasteca tiene una marcada parentela cultural y étnica con la cultura Maya.

### **Economía**

La economía del municipio gira en torno a la agricultura, la ganadería, pequeña y mediana industria y el comercio.

### **Industria Azucarera**

El municipio debe gran parte de su economía a la industria azucarera ya que desde los años treinta con la creación de la ahora desaparecida Cooperativa Ingenio Mante la producción de azúcar trajo un gran auge durante más de cincuenta años. Mante aun sigue siendo uno de los principales productores de azúcar derivada de la caña.

### **Agricultura**

La agricultura es la actividad predominante en el municipio, al cual se destinan 87.255 ha. Los principales cultivos son: caña de azúcar, maíz, frijol, arroz, sorgo, cártamo y soya. Mante a lo largo de la historia ha ocupado destacados lugares a nivel nacional en la cosecha de: tomate, algodón, caña de azúcar, mango, madera, maíz y sorgo.

### **Ganadería**

La ganadería es la actividad que ha mostrado mayor crecimiento en las últimas décadas. Entre las especies que se crían, destacan notablemente el ganado bovino, contándose dentro de las razas la holstein preisan, suizo, charolais, cebú, brahman, entre otras. Otras especies son: ovicaprino (ovino de raza pelibuey), porcino y aves como gallinas y pollos en engorda.

### **Pesca**

En la parte sudoeste del municipio de Mante, en la zona que pertenece tanto al municipio de Mante como el de González, se pesca bagre, carpa, langostino, lobina, acambay, robalo y mojarra.

### **Minería**

La Minería esta centrada en la extracción y explotación de fluorita, fosforita, barita y yeso.



## **Comercio**

Ocupa un lugar muy importante para la economía del municipio la actividad comercial, ya que Mante se ha convertido en el eje comercial de la región, la gente de los municipios aledaños acude a la ciudad para realizar la mayoría de sus compras, donde pueden encontrar centros comerciales, tiendas especializadas, cines y bancos, entre otros.

## **Industria**

La pequeña y mediana industria se dedica a la fabricación de prendas de vestir y otros artículos confeccionados con textiles. También existen procesadoras de alimento, empacadoras de frutas y pequeñas industrias metálicas y recientemente se instaló una empresa dedicada a la manufactura de arneses eléctricos para automóviles.

## **Carreteras principales**

- Carretera federal No 85 México-Nuevo Laredo, que atraviesa el municipio con dirección norte-sur, pasando por Ciudad Mante.
- Carretera federal No 80, que conecta con los municipios de González y Tampico.
- 52 km de carreteras estatales para la comunicación interlocal.
- 300 km de caminos revestidos para la comunicación suburbana.

## **Ferrocarril**

El municipio contaba con infraestructura ferroviaria, la cual se conecta con la vía Monterrey-Tampico. Este sistema anteriormente comunicaba hasta Ciudad Valles, San Luis Potosí.

## **Aeropuertos**

- Aeropista de alcance corto.
- Pequeñas pistas rudimentarias, para el aterrizaje de avionetas fumigadoras, en varias comunidades y ranchos particulares.

## **Telecomunicaciones**

El municipio está integrado a la infraestructura troncal de telecomunicaciones de México, para conducir señales de telegrafía, voz, sonido e imágenes, las cuales están formadas por la red de microondas del Gobierno Federal y de Telmex. También hay plantas repetidoras de los canales azteca trece y azteca siete así como el canal de las estrellas y canal cinco de Televisa, también hay una empresa de televisión de paga, también esta presente



Organización Radiofónica Tamaulipeca (ORT) dedicada a la comercialización de la radio y cuenta con 4 Estaciones en A.M. y una en F.M., sin faltar también la telefonía celular.

### **Zonas turísticas**

Ciudad Mante cuenta con diferentes áreas muy apropiadas para practicar deportes extremos y eco-turismo. Así como también cuenta con amplias áreas de esparcimiento.

- La cueva del Abra ubicada en el municipio de Antiguo Morelos y las grutas de Quintero son dos cavidades de la sierra de Cucharas y son sin duda las mejor conocidas y más visitadas de esta región. En la cueva del Abra vale la pena admirar el sótano que se encuentra al fondo de la misma y cuyo tiro de entrada es de 116 metros. Fue descendido parcialmente por espeleólogos de San Antonio (Texas) en 1956, en la gruta de Quintero podemos observar al caer la tarde el espectáculo que nos brindan miles de murciélagos que salen para alimentarse en los alrededores.
- El cerro del Bernal de Horcasitas es un singular cerro ubicado en las cercanías de Mante, símbolo en el escudo de armas del estado puede ser observado en todo su esplendor por los viajeros que circulan por la carretera hacia Tampico, o en la famosa curva del abra ubicada en la sierra de cucharas viniendo de ciudad valles desde este lugar donde hay un descanso también se aprecia en todo su esplendor el valle del Mante y si la visibilidad lo permite pueden observarse los cerros en el municipio de Xicotencatl y Gómez Farias dando una vista espectacular de la ciudad y del municipio, la altitud máxima del cerro del Bernal alcanza los 820 metros. Este monumento natural se eleva completamente aislado sobre la gran planicie costera del sur tamaulipeco, no encontrando ningún otro sistema montañoso a menos de 45 km.
- El nacimiento del río Mante, éste lugar se encuentra tan sólo a 11 km de la ciudad, siendo sus caminos de terracería accesibles todo el tiempo. Ver como brota un magnífico manantial de las rocas de la sierra de Cucharas, constituye un espectáculo novedoso y edificante. Es el sitio turístico por excelencia donde pueden disfrutar con toda la familia de un maravilloso día de campo, se puede practicar natación, o bien, relajarse con un paseo en lancha. La cueva del Nacimiento, es de donde brota el agua que da origen al río Mante, en ella se puede practicar buceo de profundidad y buceo espeleológico pues se tiene el dato de que la profundidad es mayor a 200 m. No se ha logrado determinar la profundidad total ya que la grieta es muy estrecha en muchas partes, restringiendo el descenso. La Aguja es otro popular balneario a 7 km de Mante, se creó con la construcción de una presa sobre el Río Mante, la cual sirve para irrigar los grandes cañaverales de la región. Esta obra se construyó entre 1927 y 1929 y el 9 de agosto de 1929 fue su inauguración. De aquí se puede navegar aguas arriba hasta llegar al nacimiento.
- El castillo de Nueva Apolonia, edificio construido en el siglo XIX que perteneció a la inmensa hacienda "El Naranjo". Fue famosa en sus tiempos pues recibió



visitantes distinguidos como el General Porfirio Díaz. Se ubica al sur del poblado de la Nueva Apolonia.

- El Cielo, zona ecológica protegida por la ONU, el estado de Tamaulipas y administrada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) se encuentra en el municipio vecino de Gómez Farias, mas es muy accesible desde Ciudad Mante. Comprende 144,530 ha y constituye un paraíso por la gran cantidad de especies que alberga: aproximadamente 175 especies distintas de aves migratorias y 225 aves residentes, algunos anfibios y mamíferos, como venado cola blanca, jaguar y oso negro; esto es posible debido a sus condiciones topográficas, climatológicas y biológicas de esta zona ecológica. Esta reserva tiene 4 ecosistemas diferentes que han estado aislados de la alteración típica del hombre, alberga especies de fauna y flora únicas en el mundo.
- El Cañón de la Servilleta, localizado en los limites de los municipios de Gómez Farias y El Mante, parte en dos a la Sierra de Cucharas y nos muestra en su lecho la historia prehistórica con restos fósiles en las rocas de piedra caliza; así mismo cuenta con unas grutas en la parte alta, las cuales tienen acceso antes de llegar al Río Comandante y donde se encuentran pinturas rupestres. Se puede nadar y practicar, rapel en sus altas pendientes que alcanzan más de 80 m de altura.

## Capítulo 5

### Caso estudio: planta de tratamiento para la cabecera municipal de Ciudad Mante

#### **Desarrollo del proyecto**

Para el diseño hidráulico de la planta de tratamiento se elaboraron las bases de diseño con base en la identificación de la población beneficiada y las estimaciones de concentración promedio típicas de un agua residual doméstica. Los procesos considerados fueron un tratamiento primario y secundario con un reactor biológico y un sedimentador, para descargar después de la cloración del efluente tratado.

#### **Periodo de diseño**

Se ha usado fijar el periodo de diseño con un criterio estándar que depende de la población. Las recomendaciones en este sentido son las que se presentan en el siguiente cuadro:

Periodo de diseño para diferentes poblaciones

LOCALIDADES	PERIODO DE DISEÑO
1. De hasta 4000 habitantes	5 años
2. De 4000 a 15000 habitantes	10 años
3. De 15000 a 70000 habitantes	15 años
4. De más de 70000 habitantes	20 años

#### **Modelo Aritmético**

El modelo aritmético tiene como característica un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales y, en consecuencia la velocidad de crecimiento, o sea la relación del incremento de habitantes con respecto al periodo de tiempo es una constante; expresado como ecuación se tiene:

$$\frac{dP}{dt} = K_a \quad \text{o bien} \quad dP = K_a dt$$



Donde P es la población; t el tiempo y  $K_a$  una constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo (año, decenio, etc.). Integrando:

$$\int_1^2 dP = K_a \int_1^2 dt \quad \gggg \quad P_2 - P_1 = K_a(t_2 - t_1) \quad : \quad \text{de donde se obtiene } K_a:$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo T cualquiera se tiene la ecuación lineal:

$$P = P_2 + K_a(T - t_2)$$

Donde el índice “2” se considera para los datos iniciales ( $P_2$ , población inicial en el tiempo  $t_2$ ).

Para el caso de Cd. Mante, se utilizará un periodo de diseño de 20 años, así que se calculará la población actual (2008) y la población para 20 años (2028).

Datos censales (INEGI)

1990	2000
76,799	80,533

$$K_a 90-00 = (80,533 - 76,799) / (2000 - 1990) = 373.4$$

$$P 2008 = 80,533 + 373.4 * (2008 - 2000) = 83,520 \text{ hab}$$

$$P 2018 = 83,520 + 373.4 * (2018 - 2008) = 87,254 \text{ hab}$$

$$P 2028 = 87,254 + 373.4 * (2028 - 2018) = 90,988 \text{ hab}$$

### Modelo Geométrico

El modelo geométrico de crecimiento de población se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, o sea:

$$\frac{dP}{dt} = K_G P \quad \text{o bien} \quad \frac{dP}{P} = K_G dt$$



donde  $K_G$  es la velocidad de crecimiento cuando la población  $P$  es la unidad. Integrando la ecuación se obtiene:

$$\int_1^2 \frac{dP}{P} = K_G \int_1^2 dt \quad \gggggg \quad \ln P_2 - \ln P_1 = K_G (t_2 - t_1) \quad \text{de donde se obtiene } K_G:$$

$$K_G = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Para un tiempo  $T$  cualquiera:

$$\ln P = \ln P_2 + K_G (T - t_2)$$

Para nuestros datos:

$$K_G \text{ 90-00} = (\ln 80,533 - \ln 76,799) / (2000 - 1990) = 0.0047$$

$$\ln P \text{ 2008} = \ln 80,533 + 0.0047 * (2008 - 2000) = 11.3344$$

$$P \text{ 2008} = e^{11.3344} = 83,650 \text{ hab}$$

$$\ln P \text{ 2018} = \ln 80,533 + 0.0047 * (2018 - 2000) = 11.3818$$

$$P \text{ 2018} = e^{11.3818} = 87,718 \text{ hab}$$

$$\ln P \text{ 2028} = \ln 80,533 + 0.0047 * (2028 - 2000) = 11.4293$$

$$P \text{ 2028} = e^{11.4293} = 91,982 \text{ hab}$$

Como cada uno de los procedimientos nos da una cantidad de habitantes diferentes, tomaremos un promedio de las poblaciones:

	2008	2018	2028
	83,585	87,486	91,485

Con esta población calculamos los Gastos

$$P = 91,485 \text{ habitantes}$$

Dotación 185 l/habitante/día Criterio Banobras



C. A. 80%

- Gasto Medio

Q medio	13,539,780 l/día	13,539.7800 m <sup>3</sup> /día
	156.71 l/s	0.15671 m <sup>3</sup> /s

- Gasto mínimo.

Q min	78.36 l/s	0.07836 m <sup>3</sup> /s
-------	-----------	---------------------------

- Gasto Máximo Instantáneo.

Q max inst	14,158,307 l/día	14,158 m <sup>3</sup> /día
	163.87 l/s	0.16387 m <sup>3</sup> /s

$$M = 1 + (14 / 4 + \sqrt{P}) = 1 + (14 / 4 + \sqrt{91,081}) = 1.05$$

- Gasto Máximo Extraordinario.

Q max ext	245.80 l/s	0.24580 m <sup>3</sup> /s
-----------	------------	---------------------------

Se planea construir una planta con pretratamiento, tratamiento primario y secundario.

#### “Método aritmético”

Dotación de agua potable	185	l/hab/día
Aportación de agua residual	148	l/hab/día
Gasto Mínimo	78.36	l/día
Gasto Medio	13,539,780	l/día
Gasto Medio	156.71	l/s
Gasto Máximo Instantáneo	163.87	l/s
M	1.05	
Gasto Máximo Extraordinario	245.80	l/s





Para el diseño de la planta se considerará que la calidad del Agua Residual Municipal no tratada corresponde a la concentración media reportada para un análisis típico del Agua Residual (Tabla 1).

**Tabla 1. Calidad del agua típica para descargas municipales  
(Metcalf & Eddy, 1985)**

CONSTITUYENTE	Alta
Sólidos, totales (ST):	1230
Disueltos totales (SDT)	860
Fijos (SDF)	520
Volátiles (SDV)	340
Suspendidos totales (SST)	400
Fijos (SSF)	85
Volátiles (SSV)	315
Sólidos sedimentables, ml/l	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C (DBO <sub>5</sub> , 20)	350
Carbono orgánico total (COT)	260
Demanda química de oxígeno (DQO)	800
Nitrógeno (total como N):	70
Orgánico	25
Amoniacal	45
Nitritos	0
Nitratos	0
Fósforo (total como P)	12
Orgánico	4
Inorgánico	10
Cloruros	90
Sulfatos	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	200
Grasas y aceites	100
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	>400
Coliformes totales, NMP/100ml	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>
Coliformes fecales, NMP/100ml	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>

En la calidad del Agua Residual Municipal no tratada se considerara para el diseño de la planta una concentración media tabla de un análisis típico del Agua Residual.



## Tratamiento primario

El agua residual contiene una variedad de sólidos de distintas formas, tamaños y densidades.

Para removerlos se requiere una combinación de las operaciones unitarias: cribado, desmenuzado y sedimentación. Los elementos de la planta de tratamiento que corresponden al subsistema primario son los siguientes:

1. Emisor de llegada
2. Elementos preparatorios
  - a) Rejillas (o desmenuzador) para separar (o reducir) el material basto
  - b) Desarenadores para separar la arena
  - c) Vertedor, medidor o canal de aforo
3. Tanques de sedimentación primaria para separar los sólidos suspendidos

Los emisores son la parte de la red de alcantarillado que conduce el agua residual a la planta de tratamiento, y de ésta al sitio de vertido final. Los emisores se diseñan para operar a gravedad o a presión, decisión que depende de las condiciones particulares de cada proyecto.

El gasto de diseño de los emisores es el gasto máximo extraordinario de proyecto, en el tramo comprendido entre la red y la planta de tratamiento, y el gasto del efluente tratado para el tramo existente entre la planta y el sitio de vertido final.

La parte del emisor que conduce el efluente de agua residual tratada puede ser un canal a cielo abierto, pero la parte del emisor que conduce el influente de agua residual cruda es una tubería, comúnmente de concreto, que sólo se encontrará totalmente inundada durante o inmediatamente después de una precipitación pluvial.

Las operaciones para eliminar los objetos grandes y la arena, junto con la medición del gasto, son denominadas frecuentemente tratamiento preliminar, y son una parte integral del tratamiento primario.

### Diseño del Canal de Rejillas

El diseño de las rejillas se incluye con el fin de evitar la entrada de sólidos gruesos.

Se considerarán dos canales

$$Q_m = 156.710 / 2 = 78.355 \text{ l/s} = 0.0784 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$Q_{mext} = 245.804 / 2 = 122.902 \text{ l/s} = 0.1229 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con velocidad de 0.60 m/s,

$$A = Q / V = 0.156 / 0.6 = 0.261 \text{ m}^2$$

$$A = b * h \quad \text{si } b = 2h \quad A = 2 h^2$$

$$h = \sqrt{(A/2)} = \sqrt{(0.261/2)} = 0.361 \text{ m} \approx 0.36 \text{ m}$$

$$b = 0.720 \text{ m}$$

Se propone el siguiente diseño de rejilla:

Espesor  $c$  (sección circular) igual a 0.01 m

Separación  $e$  entre barras igual a 0.05 m

Número de espacios

$$E = (b + e) / (c + e) = (0.720 + 0.05) / (0.01 + 0.05) = 12.833 \text{ espacios}$$

Número de barras

$$N = E - 1 = 12.833 - 1 = 11.833 \approx 12 \text{ barras}$$

Ancho corregido

$$b = N * c + (N - 1) * e = 12 * 0.01 + (12 - 1) * 0.05 = 0.670 \text{ m}$$

Revisión de la velocidad entre las barras

$$Y = Q_{max} / (h (b - (n - 1) * e)) = 960.322 \text{ m/s}$$

Perdida de carga a través de la rejilla

Ángulo de inclinación  $\delta$  igual a 45°

$$H = 1.67 * (c / b) * h * \sin \delta = 0.0076 \text{ m}$$



Nivel máximo de agua en el canal:

$$h_{\text{máx}} = h + \text{pérdida máxima de operación si es limpieza manual} = 0.36 + 0.15 = 0.51 \text{ m}$$

$$H_{\text{canal}} = h_{\text{máx}} + \text{bordo libre} = 0.51 + 0.25 = 0.76 \text{ m}$$

Cantidad de material que es probable que quede retenido en la rejilla:

El 10% que equivaldría a 1,354 m<sup>3</sup>/día

$$\text{Caudal medio diario} = 12,186 \text{ m}^3/\text{d}$$

### Diseño del canal desarenador

Los desarenadores se ubican después de las rejillas. Cuando es necesario bombear el influente de agua residual se recomienda localizar el cárcamo a continuación de los desarenadores. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores. Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir o atenuar el mal olor.

Para remover partículas con una velocidad de sedimentación igual o mayor de 1.27 m/min, velocidad correspondiente a una partícula de densidad 2.65.

Gasto medio	156.71 l/s	0.1567 m <sup>3</sup> /s	13,539.78 m <sup>3</sup> /día
Gasto máximo	163.87 l/s	0.1639 m <sup>3</sup> /s	14,158.31 m <sup>3</sup> /día

Determinación del área superficial

$$C_s = \frac{Q}{A_s}$$

Se propone  $C_s = 80 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{día}$



$$A_s = Q / C_s = 13,539 / 80 = 169.2473 \text{ m}^2$$

Se consideran 2 tanques circulares

$$A_{1,2} = A_s / 2 = 169.2473 / 2 = 84.6236 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Por lo tanto el diámetro es  $d = 10.38 \text{ m}$

Diámetro corregido  $D = 10 \text{ m}$

Se corrige el área con el nuevo diámetro  $A_s \text{ corregida} = 78.5398 \text{ m}^2$

Se revisa  $C_s$  con  $Q_{\max}$

$$C_s = (Q_{\max} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_{\text{corr}}) = (14,158 / 2) * (1 / 78.5398) = 90 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

La Carga superficial debe tener valores de  $80 < C_s < 120$

Por lo tanto cumple con los parámetros de diseño establecidos.

Se propone una profundidad del tanque de  $h = 5.5 \text{ m}$

$$\text{Volumen} = A_{\text{corr}} * h = 78.5398 * 5.5 = 431.9690 \text{ m}^3$$

Esto es en un solo tanque

Tiempo de retención

$$T = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) = 431.9690 / ((1 / 2) * 13,539) = 0.064 \text{ día} = 1.531 \text{ hora}$$

El tiempo debe tener valores entre  $1.5 < t < 2.5$  horas de retención. Por lo tanto cumple con los parámetros de diseño establecidos.

Revisando la carga sobre el vertedor:

Proponemos un canal perimetral, por lo que

$$C_v = (Q_{\text{med}} / \# \text{ tanques}) / (\Pi * D) = (13,539 / 2) / (\Pi * 10) = 215.4923 \text{ m}^3/\text{mdía}$$



## Eficiencia

La eficiencia esperada del sedimentador para un  $t = 1.531$  horas y tomando el valor de SST = 400 mg / l:

Con la expresión:

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

para SST:

$$R_{SST} = 1.531 / (0.0075 + (0.014 * 1.531)) = 52.92\%$$

para DBO:

$$R_{DBO} = 1.531 / (0.018 + (0.02 * 1.531)) = 31.49 \%$$

Clase de lodo	Gravedad específica	Concentración de Rango	Sólidos en % Típico
Únicamente lodo primario de aguas residuales de alcantar. Separado.	1.03	4-12	6
De alcantar. Combinado.	1.05	2-12	6.5
Lodo activado y primario.	1.03	2-6	3
Filtro percolador y primario.	1.03	4-10	5

Calculamos la cantidad de sólidos removidos al día:

Q medio	13,539,780 l/día	13,539.7800 m <sup>3</sup> /día
	156.71 l/s	0.15671 m <sup>3</sup> /s

$$M_s = 0.5355 * ((400 \text{ mg/l}) * (1/10^{-6} \text{ kg/mg})) * (13,538,780 \text{ l/día}) * = 2,900 \text{ kg/día}$$

Suponiendo que la concentración de lodos es de 5.4% y la gravedad específica es de 1.03 tenemos:



$$V = Ms / \rho_w S_L P_s = (2,900 \text{ kg/día}) / (1000 \text{ kg/m}^3) * 1.03 * 0.054 = 52.14 \text{ m}^3/\text{día}$$

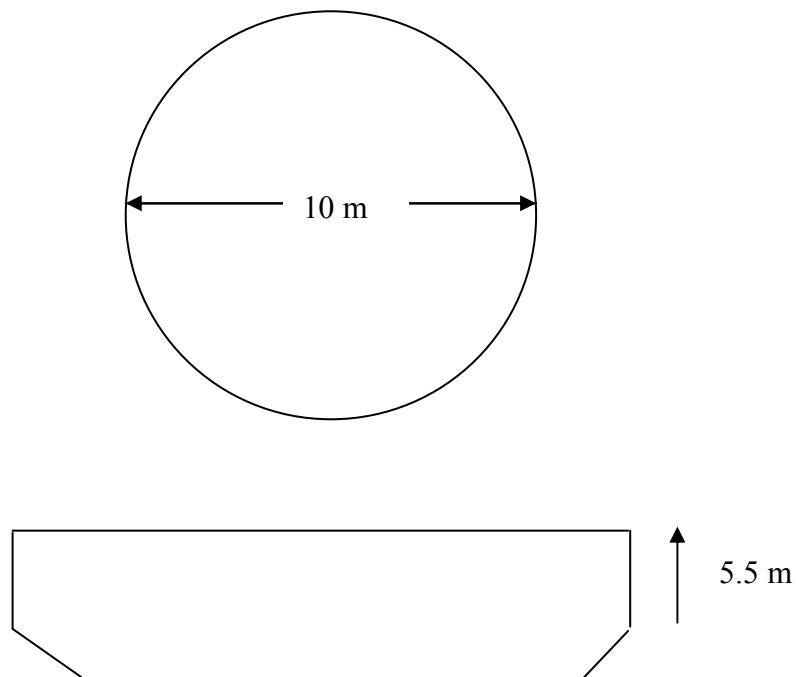
### Conclusión

Por lo tanto podemos decir que se acepta el diseño del tanque desarenador ya que el tratamiento primario expuesto anteriormente queda dentro del rango estipulado, el cual es:

Para SST  $\Rightarrow$  50 – 70 %  $\Rightarrow$  tenemos 52.92 % dentro del rango.

Para DBO  $\Rightarrow$  25 – 40 %  $\Rightarrow$  tenemos 31.49 % dentro del rango.

Croquis del Tanque Desarenador





## Tratamiento secundario

### Reactor Biológico

Datos a considerar para el diseño del reactor biológico completamente mezclado sin recirculación de lodos:

Volumen del reactor

$$\begin{aligned}1 / \Theta_c &= [(Q_{med} * Y * (S_0 - S)) / (V * X)] - k_d \\1 / 15 &= [(13,539.78 * 0.5 * (222 - 34.125)) / (V * 6000)] - 0.05 \\ \rightarrow V &= [((Q_{med} * Y * (S_0 - S) * \Theta_c) / ((1 + k_d) * X))] = 3,028.397 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Revisión de  $V_L$

VI debe estar entre los valores siguientes  $0.8 < V_L < 2$   
 $V_L = Q_{med} * S_0 / V = (13,539.78 * 0.222) / 3,028.397 = 0.9926 \text{ kg/m}^3\text{día}$

Revisión  $F / M$

Debe tener valores  $0.1 < F / M < 0.4$

$$F / M = [(Q_{med} * (S_0 - S)) / (V * X)] = 0.14$$

Por lo que cumple con los parámetros de diseño.

Masa y volumen de sólidos de desecho

$$\begin{aligned}\Theta_c &= (V * X) / (Q_w * X_u) \\ \rightarrow Q_w &= (V * X) / (\Theta_c * X_u) = 121.14 \text{ m}^3 \text{ es lo que se manda al tratamiento de lodos}\end{aligned}$$

Después del balance de masa, tenemos:

$$Q_R = ((Q_w * X_u) - (Q * X)) / (X - X_u) = 8,128.6240 \text{ m}^3/\text{día}$$

Masa de sólidos que extraemos:

$$M_s = \text{Sed secundario} * (Q_R + Q_w) = 82,497.60 \text{ kg/día}$$





Masa de sólidos de desecho:

$$M_{sw} = Q_w * X_u = 1,211.36 \text{ kg/día}$$

La relación de recirculación:

$Q_R / Q_{med}$  debe tener valores entre  $0.25 < Q_R / Q < 1$

$$Q_R / Q_{med} = 0.60$$

Las dimensiones del reactor serán, si proponemos una profundidad de 5 m y éste tiene una longitud recomendable igual a 3 veces su ancho:

$$V = L * a * h \quad \text{si } L = 3 * a$$

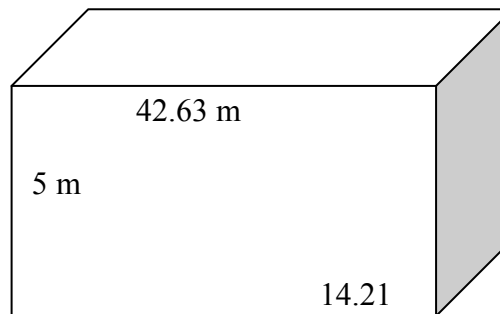
$$V = (3 * a) * a * h = 3 * a^2 * h$$

$$\rightarrow a = \sqrt{V / (3 * h)} = 14.21 \text{ m}$$

$$\text{Entonces } L = 3 * 14.21 = 42.63 \text{ m}$$

Aire abastecido: 45 a 90 m<sup>3</sup>/kg DBO

Croquis del Reactor biológico



### Sedimentador Secundario

Datos a considerar:

Q <sub>med</sub>	13,539.78	m <sup>3</sup> /día
Q <sub>max</sub> =	14,158.31	m <sup>3</sup> /día
Q <sub>R</sub>	8,128.62	m <sup>3</sup> /día
Q <sub>R</sub> / Q <sub>med</sub>	0.6	
SSL <sub>M</sub>	6000	mg / l



Carga superficial propuesta  $C_s = 45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$

$$A_s = Q_{\text{med}} / C_s = 13,539.78 / 45 = 300.8840 \text{ m}^2$$

Si utilizamos dos tanques circulares:

$$A_s \text{ nueva} = A_s / \# \text{ tanques} = 300.8840 / 2 = 150.4420 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Por lo tanto el diámetro es  $d = 13.84 \text{ m}$

Diámetro corregido  $D = 14 \text{ m}$

$$\text{Se corrige el área con el nuevo diámetro } A_s \text{ real} = \pi (14)^2 / 4 = 153.9380 \text{ m}^2$$

Se revisa la Carga superficial con el Gasto máximo,  $40 < C_s < 64$

$$C_s = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) * (1 / A_s \text{ real}) = (14,158.31 / 2) * (1 / 153.9380) = 46 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$

Proponiendo profundidad de 1 m

$$\text{Vol} = A_s * h = 153.9380 * 1 = 153.9380 \text{ m}^3 \text{ en un solo tanque}$$

Tiempo de retención

$$\text{Tr} = \text{Vol} / ((1 / \# \text{ tanques}) * Q_{\text{med}}) = 153.9380 / ((1 / 2) * 13,539.78) = 0.0227 \text{ días} = 0.55 \text{ horas} = 32.74 \text{ min} = 33.14 \text{ min}$$

Revisión de carga sobre el vertedor

Se propone un canal perimetral

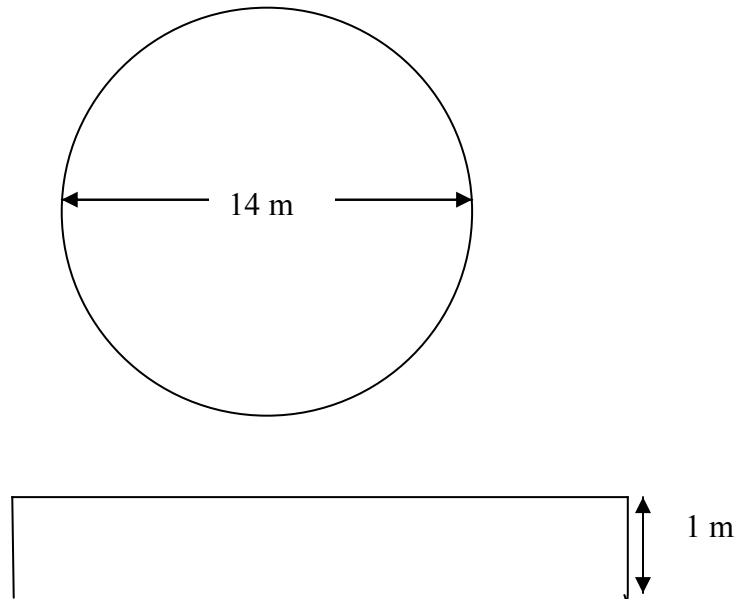
$$C_v = (Q_{\text{max}} / \# \text{ tanques}) / (\pi * D) = (14,158.31 / 2) / (\pi * 14) = 160.9546 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$

Revisión de la carga de sólidos



$$C_s = ((Q_{med} + Q_R) * X) / 2 * (1 / A_{sreal}) = ((13,539.78 + 5,686.71) * 6) / 2 * (1 / 153.9380) = 374.6927 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$$

### Croquis del Sedimentador Secundario





## Desinfección

Datos considerados:

Q med	13,539,780 l/día	13,539.78 m <sup>3</sup> /día
		9.40 m <sup>3</sup> /min
Dosis de cloro	10 mg/l	0.01 g/l
T contacto	30 Min	

Consumo diario de cloro

$$\text{Consumo cloro} = Q \text{ med} * \text{dosis cloro} = 135,397.8 \text{ g / día} = 135 \text{ kg / día}$$

Tanque de cloro

$$V_{\text{cloro}} = Q_{\text{med}} * t_{\text{contacto}} = 9.40 \text{ m}^3 / \text{min} * 30 \text{ min} = 282.08 \text{ m}^3$$

Si la profundidad es propuesta y de 4 m

$$A_s = V_{\text{cloro}} / h_{\text{prop}} = 282.08 / 4 = 70.52 \text{ m}^2$$

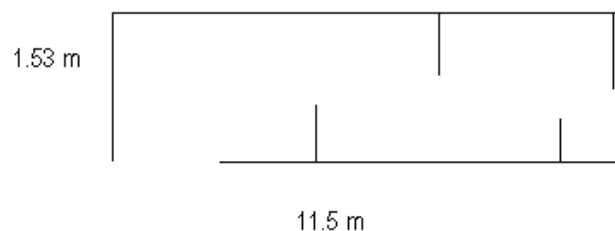
$$\text{Si } l / b = 30 \rightarrow \text{poniendo } b \text{ en función de } l, \text{ entonces } b = l / 30$$

$$l^2 = A_s * 30 \rightarrow l = \sqrt{(A_s * 30)} = \sqrt{(70.52 * 30)} = 46 \text{ m}$$

$$b = 46 / 30 = 1.53 \text{ m}$$

Se proponen 4 canales.

$$L = l / 4 = 46 / 4 = 11.5 \text{ m}$$



Así, finalmente tenemos el croquis del tanque de cloro:

Extracción:

$$\# \text{ cilindros} = 135 / 21.8 = 6.21 \approx 6 \text{ cilindros de } 48 \text{ lb / día}$$

## Capítulo 6

### Conclusiones

Durante mi estancia con Ingenieros sin Fronteras-México, A.C. aprendí que buscan, de manera clara, la colaboración entre los miembros de las comunidades y el personal de la ONG generando, de esta forma, un vínculo que aporte, más allá de los proyectos de ingeniería, un conocimiento práctico que le permita a las comunidades una acción de auto gestión así como de toma de conciencia del uso racional de los recursos naturales que tengan en su entorno.

Tuve la fortuna de colaborar con ellos en un proyecto social que, una vez implementado, brindará a los municipios de Ciudad Mante, Tamaulipas y Pánuco, Veracruz una solución real al problema que tienen de aguas contaminadas y, evidentemente, conllevará una mejora en la calidad de vida de sus habitantes. Quizá una de las mejoras más evidentes será el control de enfermedades estomacales y un descenso en sus tasas de mortandad infantil.

Me quedan en el tintero algunas consideraciones éticas y sociales al respecto, si bien estos diseños hidráulicos consideran los dos niveles de tratamiento (físico y químico) de las aguas residuales, aún es necesario desarrollar los modelos que complementen este trabajo, es decir, el tercer nivel de tratamiento (ósmosis inversa, uvas, etc.) y queda pendiente, también, el desarrollo de los diseños estructurales de las dos plantas.

Es cierto que el alcance de estos dos diseños les permitirá usar las aguas tratadas dentro de sus sistemas de riego e impactará, de manera cierta, en las condiciones de salubridad y de crecimiento en general de los dos Municipios.

Durante la realización de esta tesis comprendí la importancia de la ingeniería civil, y por qué no, de todas las demás ramas, en el desarrollo sustentable dentro de las poblaciones rurales mexicanas. Aprendí que, como bien dice el lema de mi Universidad, el espíritu humano debe responder a las necesidades de sus comunidades y ser capaz de darles respuestas funcionales.

## Bibliografía

- César Valdez Enrique (2001) *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. Facultad de Ingeniería. UNAM. México
- INEGI (2006) Datos Población Ciudad Mante y Pánuco, en sitio web:  
<http://www.inegi.gob.mx/lib/buscador/busqueda.asp?s=inegi&SeccionB=docit>
- <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/cat-cpv2000.pdf>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad\\_Mante](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_Mante) [consultada septiembre de 2008]
- <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30123a.htm>  
[consultada septiembre de 2008]
- CNA (2008) Cuencas Hidrológicas en sitio web: <http://www.conagua.com.mx> [consultada junio 2008]
- Google Earth [consultada agosto de 2008]
- [http://www.frasecelebre.net/Frases\\_De\\_Prevision\\_1.html](http://www.frasecelebre.net/Frases_De_Prevision_1.html) [consultada el 2 de octubre del 2008]
- Metcalf – Eddy (1985) *Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Editorial Labor. S.A. segunda edición.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.[consultada 4 de noviembre de 2008]
- NOM-001-SEMARNAT-1996 [consultada 4 de noviembre de 2008]
- NOM-002-SEMARNAT-1996 [consultada 4 de noviembre de 2008]
- NOM-003-SEMARNAT-1997 [consultada 4 de noviembre de 2008]
- NOM-004-CNA-1996 [consultada 4 de noviembre de 2008]