

16
20j



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON**

**"APUNTES DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JOSE ANTONIO ESCAMILLA OCHOA



SAN JUAN DE ARAGON

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

TESIS

COMPLETA

Apuntes de
Tratamiento
de Aguas
Residuales

A MIS COMPAÑEROS
POR TODOS LOS MOMENTOS
COMPARTIDOS

A MIS SOBRINOS
PORQUE SIEMPRE ALEGRA
MI VIDA

A TODAS LAS PERSONAS
QUE ALGUN DIA ME DIERON
UNA PALMADA SINCERA
EN LA ESPALDA

AL M. en C.
JESUS VICENTE MEJIA MIRAMON
POR EL APOYO RECIBIDO PARA
LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO

AL INGENIERO
JOSE PAULO MEJORADA MOTA
MUCHISIMAS GRACIAS
POR TODO

AL M. en I.
EBER FLORES AVILA
LE AGRADEZCO
MUCHO

A QUIEN SIEMPRE ESTOY QUERIENDO,
Y A QUIEN DEBO TODO EN LA VIDA
ESTE ESFUERZO TE LO DEDICO A TI
¡TE AGRADEZCO MUCHO!
M A M A

A MIS HERMANOS
PORQUE SIEMPRE ESTAN
CONMIGO
IMPULSANDO MIS ANIMOS

A LA UNAM
POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD
DE FORMARME PROFESIONALMENTE

A MI PADRE
POR DEJAR SEMBRADO ALGO
DE EL EN MI

Indice

	Pág
INTRODUCCION.....	1
CAP	
1 CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES	
1.1 Origen de las aguas residuales. Definiciones.....	4
1.2 Aspecto y composición de las aguas residuales domésticas.....	12
1.3 Los sólidos de las aguas residuales.....	16
1.4 Gases disueltos.....	25
1.5 Cambios químicos en la composición de las aguas residuales.....	29
1.6 Muestreo y análisis de las aguas residuales.....	33
2 DISPOSICION Y REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES	
2.1 Tratamiento y disposición de las aguas residuales.....	59
2.2 Necesidad de tratar las aguas residuales.....	68
2.3 Aprovechamiento de las aguas tratadas.....	71
2.5 Aspectos legales de la disposición y reuso de las aguas residuales.....	76
3 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	
3.1 Tamaño y localización de la planta.....	89
3.2 Niveles de tratamiento.....	93
3.3 Descripción general de los niveles de tratamiento: preliminar, primario, secundario y avanzado. Desinfección y tratamiento de lodos.....	96

4	TRATAMIENTO PRELIMINAR	
4.1	Rejas y cribas de barras.....	102
4.2	Cribas finas.....	108
4.3	Desmenuzadores.....	113
4.4	Desarenadores.....	113
4.5	Tanques de preaeración.....	121
4.6	Cárcamos de bombeo.....	122
5	TRATAMIENTO PRIMARIO	
5.1	Tanques de sedimentación simple.....	130
5.2	Tratamiento químico.....	143
6	TRATAMIENTO SECUNDARIO	
6.1	Introducción a los procesos biológicos.....	153
6.2	Procesos en medio fijo.....	154
6.3	Procesos en suspensión.....	166
6.4	Tanques para la sedimentación secundaria.....	176
7	DESINFECCION DE LAS AGUAS RESIDUALES	
7.1	Métodos de desinfección de las aguas residuales.....	180
7.2	Reacciones del cloro con las aguas residuales.....	183
7.3	Propósitos de la cloración.....	185
7.4	Riesgos en el manejo del cloro.....	188
7.5	Operación y mantenimiento de los cloradores.....	189

8	TRATAMIENTO EN SUELO	
8.1	Mecanismos de remoción de contaminantes en el tratamiento del agua en el suelo.....	191
8.2	Irigación.....	193
8.3	Escurrimiento superficial.....	194
8.4	Infiltración.....	195
9	TRATAMIENTO Y VERTIDO DE LODOS	
9.1	Métodos de tratamiento de los lodos.....	199
9.2	Disposición de los lodos.....	207
10	SERVICIOS ADICIONALES DE LA PLANTA	
10.1	Obras accesorias a una planta de tratamiento.....	210
10.2	Mantenimiento de la planta y del equipo.....	211
10.3	Seguridad en la planta de tratamiento.....	214
10.4	Hidráulica y electricidad.....	216
11	NECESIDAD DE PROCESOS AVANZADOS DE TRATAMIENTO	
11.1	Necesidad de remoción adicional de impurezas.....	227
11.2	Procesos de tratamiento avanzado disponibles.....	229
	CONCLUSIONES.....	253
	GLOSARIO.....	259
	ANEXO1.....	266
	ANEXO2.....	274
	BIBLIOGRAFIA.....	285

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis pretende ser elaborado, para que sea una contribución de utilidad pública universitaria.

El objetivo primordial es de entusiasmar a los alumnos que cursen la materia de Tratamiento de Aguas Residuales, ya que hoy en día es una de las áreas que requieren de mayor capacidad técnica y profesional; para poder así dar soluciones y mejorar las condiciones en todo lo referente con tan vital líquido como lo es el agua.

Por otro lado es importante despertar el interés hacia la Ingeniería Ambiental, no sólo con lo que respecta el agua, sino con todo lo que conforma el medio ambiente, para poder conservarlo sin frenar el desarrollo del país.

Es tiempo que nos demos cuenta que los problemas en materia del agua se han venido arrastrando de generaciones anteriores, y que el agua representa para México, un elemento importante pero también escaso cuya falta puede, a mediano plazo, comprometer seriamente sus posibilidades de desarrollo integral.

La intención del presente trabajo de tesis, es de presentar información suficiente, para resolver problemas que se presentan al tratar las aguas residuales. De ésta intención se deduce el acierto de la realización del presente trabajo de tesis, ya que por desgracia no existe bibliografía que abarque todos los temas que comprende la materia de Tratamiento de Aguas Residuales, que se imparte en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales plantei Aragón.

Los distintos capítulos están desarrollados de tal forma que no se complique el entendimiento de los conceptos fundamentales, que deben quedar presentes en nuestra formación universitaria.

En el capítulo uno definiremos las aguas residuales, estudiaremos su origen, aspecto, composición (gases y sólidos), cambios químicos presentes, muestreo y análisis que se deben realizar a las aguas residuales para su tratamiento.

En el capítulo dos nos referimos a la evacuación de las aguas residuales, es decir desalojarlas de la planta de tratamiento, estudiaremos el porque se tratan las aguas residuales, como se pueden aprovechar, y veremos que para poder evacuar o disponerlas es necesario respetar ciertas normas (Normas Técnicas Ecológicas), así como los aspectos legales para su disposición, conoceremos las distintas leyes y reglamentos que imperan para proteger todo en materia del agua.

En el capítulo tres estudiaremos que es lo que determina el tamaño de la planta de tratamiento, así como su localización, que niveles de tratamiento se le debe de dar al agua, y se realizará una descripción de los niveles de tratamiento, desinfección y tratamiento del lodo.

En el capítulo cuatro definiremos el tratamiento preliminar, estudiaremos, y diseñaremos los dispositivos usados para llevar a cabo éste nivel de tratamiento.

En el capítulo cinco estudiaremos el nivel de tratamiento primario, los dispositivos para llevar a cabo éste tratamiento y el diseño de los mismos.

En el capítulo seis estudiaremos el nivel de tratamiento secundario, y nos daremos cuenta de lo interesante que son los procesos biológicos, así como los distintos procesos que existen para llevar a cabo éste tratamiento.

En el capítulo siete definiremos la desinfección de las aguas residuales, para que se realiza la desinfección, el cloro como desinfectante, el riesgo en el manejo del cloro, así como la operación y el mantenimiento de los cloradores.

En el capítulo ocho estudiaremos como se realiza un tratamiento de las aguas residuales en suelo, como se realiza la remoción de contaminantes mediante este proceso, y los distintos métodos para la realización de éste tratamiento del agua residual.

En el capítulo nueve estudiaremos la importancia de tratar los lodos procedentes de las plantas de tratamiento, los diversos métodos para su tratamiento, así como su disposición final, que es tan importante como la disposición final de las mismas aguas residuales.

En el capítulo diez nos referimos a los servicios adicionales de la planta, que es lo que conforma a toda una planta de tratamiento y la importancia de estas obras, así como el mantenimiento y la conservación de la planta y del equipo; por otro lado que se debe hacer para una buena seguridad en la planta y evitar accidentes.

En el capítulo once estudiaremos la necesidad de procesos de tratamiento avanzados, es decir para hacer el agua potable, así como los últimos procesos avanzados disponibles.

Por último realizaremos las conclusiones que se dividiran en: conclusiones del presente trabajo de tesis, y conclusiones y sugerencias de la materia.

CAPITULO 1

Calidad de las aguas residuales

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno explicará las características de las aguas residuales en cuanto a su origen y composición.

CAPITULO 1

CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

1.1 Origen de las aguas residuales. Definiciones

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos. La parte líquida son las aguas residuales cuyo origen se deriva del agua suministrada a la comunidad después de haber sido combinada por diferentes usos a que ha sido sometida.

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos procedentes de residencias, instituciones públicas, así como centros comerciales e industrias, a las que se pueden agregar aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales en nuestro país define las aguas residuales como el líquido de composición variada proveniente de usos, municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

La contaminación del agua puede producirse, por la descarga de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, sólidos en suspensión, materia orgánica, calor, detergentes, sustancias tóxicas, microorganismos infecciosos, etc.

Las fuentes de contaminación del agua se clasifican como se indica en la figura 1.1

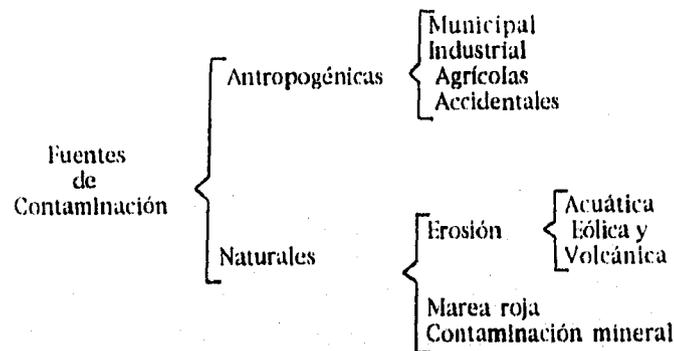


Figura 1.1 Fuentes de contaminación del agua

Las aguas residuales se clasifican en grupos en función de su origen.

La fuente de contaminación antropogénica son el resultado de las actividades humanas que emiten sustancias extrañas al medio acuático, degradando la calidad y dificultando su uso.

Las siguientes definiciones son con el propósito de entender los temas subsecuentes:

Descarga: Conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en un cuerpo receptor.

Cuerpo receptor: Toda red colectora, río, cuenca, cause, vaso o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

Aguares residuales domésticas (municipales): Son aquellas que resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones.

La cantidad o volumen de aguas residuales domésticas que se producen varían de acuerdo con el número de población y número de habitantes. Se considera que un intervalo normal de desecho de aguas residuales en un municipio puede variar de 160 a 800 lts/persona /día.

Aguares residuales combinadas: Son aguas residuales domésticas en combinación con aguas pluviales.

Aguares residuales industriales: Estas son aguas procedentes de los procesos húmedos derivados de las actividades industriales. Estos efluentes varían mucho en su tipo y volumen. Por lo general, estas aguas contienen materia mineral suspendida, coloidal o disuelta así como materia orgánica y desechos inertes. Además, puede ser excesivamente ácidas o alcalinas, y contener altas concentraciones de materias colorantes, bacterias, material reactivo, grasa, aceites y gases.

Las aguas residuales industriales están consideradas como las más peligrosas para la salud del ser humano y para la ecología del medio ambiente acuático.

En México la actividad industrial constituye el principal foco de contaminación debido a su expansión desordenada que no permite tenerla bajo control.

Los giros industriales más contaminantes del país son:

- Centrales termoeléctricas convencionales
- Industria productora de azúcar de caña
- Industria de refinación del petróleo y petroquímica
- Industria de fabricación de fertilizantes
- Industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos
- Industria de fabricación de harinas
- Industria de la cerveza y de la malta

- Industria de la fabricación de asbestos de construcción
- Industria elaboradora de leche y sus derivados
- Industria de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio
- Industria de productos de vidrio prensado y soplado
- Industria hulera
- Industria del hierro y del acero
- Industria textil
- Industria de la celulosa y el papel
- Industria de bebidas gaseosas
- Industria de acabados metálicos
- Industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones
- Industria de impregnación de productos de aserradero
- Industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores
- Industria del curtido y acabado de pieles
- Industria de la matanza de animales y empacado de cárnicos
- Industria de envasado de conservas alimenticias
- Industria elaboradora de papel a partir de la celulosa virgen
- Industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada
- De restaurantes o de hoteles
- Industria del beneficio del café
- Industria de reparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado
- De hospitales
- Industria de jabones y detergentes
- Industria de los servicios de reparación y mantenimiento automotriz, gasolineras, tintorerías, revelado de fotografías y el tratamiento de aguas residuales
- Aguas residuales de origen Urbano y Municipal.

La industria alimenticia produce aguas residuales con alta concentración de materia orgánica fácilmente degradables por medios biológicos.

Los caudales de agua industrial, varían según el tipo y tamaño de la industria y también según el método de tratamiento de los residuos.

En el caso de las refinerías las aguas residuales contienen altas concentraciones de materia orgánica de difícil descomposición y degradación biológica, los cuales aún cuando son de alimento para los microorganismos sufren degradaciones lentas.

Las aguas residuales generadas por la actividad textil se caracterizan por ser muy coloridas y por presentar elevadas concentraciones de detergentes, especialmente de tipo ABS (Alquil-Benceno-Sulfonato) los cuales son difícilmente biodegradables.

Las aguas residuales de la industria de la curtiduría también desechan sustancias tóxicas ya que se utiliza cromo para el lavado de pieles.

La Tabla I.1 nos presenta los Límites Máximos Permisibles¹ de contaminantes con que deben cumplir las aguas residuales industriales, y las Condiciones Particulares de Descarga para fines de disposición de las aguas residuales tratadas; misma que nos sirve para darnos cuenta de las características con respecto a contaminantes que contienen cada uno de los giros industriales en nuestro país.

Agua de retorno agrícola: Son las aguas excedentes del riego agrícola, las cuales retornan a los cuerpos de agua más cercanos una vez que la demanda de los suelos está satisfecha. Estas aguas arrastran sustancias provenientes de los fertilizantes y plaguicidas, lo que provoca cambios negativos en la calidad de las aguas donde son descargadas.

¹Normas Oficiales Mexicanas, Diario oficial de la Federación, 12 de enero de 1994

NUM	GIRO INDUSTRIAL	T ¹		pH ²		C. ELEC. ³		SST ⁴	
		°C				MM/cm			
		Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst
1	-Centrales Termoeléctricas Convencionales	*		6-9	6-9	*		60	80
2	-Industria productora de azúcar caña	*		6-9	6-9	*			
3	-Industria de Refinación de Petróleo crudo, sus derivados y Petroquímica Básica	*		6-9	6-9	*		70	85
4	-Industria de Fabricación de Fertilizantes, exepcto las que produzcan Acido Fosfórico como producto intermedio	*		6-9	6-9	*		60	70
5	-Industria de Plásticos y polímeros sintéticos	*		6-9	6-9	*		70	84
6	-Industria de Fabricación de Harinas	*		6-9	6-9	*		150	180
7	-Industria de la Cerveza y de la Malta	*		6-9	6-9	*		150	180
8	-Industria de fabricación de Asbestos de Construcción	*		6-9	6-9	*		60	72
10	-Industria de Manufactura de Vidrio Plano	*		6-9	6-9	*		100	120
11	-Industria de Producto de Vidrio Prensado y Soplado	*		6-9	6-9	*		40	50
12	-Industria de Fabricación de Caucho Sintético, LLantas y Camaras	*		6-9	6-9	*		30	35
13	-Industria del Hierro y del Acero	*		6-9	6-9	*		60	72
14	-Industria Textil	*		6-9	6-9	*		30	36
15	-industria de la Celulosa y el Papel	*		6-9	6-9	*		100	120
16	-Industria de Bebidas Gaseosas	*		6-9	6-9	*		200	240
17	-Industria de Acavados Metálicos	*		6-9	6-9	*		180	140
18	-Industria de Laminación, Extrusión y Estiraje de Cobre y sus Aleaciones	*		6-9	6-9	*		50	60
20	-industria de Asbestos Textiles, Materiales de Fricción y Selladores	*		6-9	6-9	*		30	35
21	-Industria del Curtido y Acabado de Pielés	*		6-9	6-9	*		150	180
22	-Industria de Matanza de Animales y Empacado de Cárnicos	*		6-9	6-9	*		50	70
23	-Industria de Envasado de Conservas Alimenticias	*		6-9	6-9	*		200	240
24	-Industria Elaboradora de Papel a Partir de Celulosa Virgen	*		6-9	6-9	*		200	240
25	-Industria Elaboradora de Papel a Partir de Fibra Celulósica Reciclada	*		6-9	6-9	*		100	120
26	-Descargas de Restaurantes o de Hoteles	*		6-9	6-9	*		125	150
27	-Industria del Beneficio del Café	*		6-9	6-9	*		200	240
28	-Ind. de Preparación y Envasado de Conservas de Pescado y Mariscos	*				*		30	45
	-Industria de Producción de Harina y Aceite de Pescado	*		6-9	6-9	*		150	180
29	-Descargas Proveniente de Hospitales	*		6-9	6-9	*		100	120
30	-Industria de Jabones y Detergentes	*		6-9	6-9	*		200	240
31	-Ind. de los Servicios de Reparación y Mant. Automotriz, Gasolineras	*		6-9	6-9	*		40	60
	Tintorerías, Revelado de Fotografías y el Tratamiento de aguas residuales	*		6-9	6-9	*		50	100
32	-Aguas Residuales de Origen Urbano o Municipal para su Disposición Mediante Riego Agrícola	40		6-9	6-9	10000	15000	*	
		*		6.5-8.5		2000		120	

*Condiciones Particulares de Descarga

- 1 Temperatura
- 2 Potencial de Hidrógeno
- 3 Conductividad Eléctrica
- 4 Sólidos suspendidos totales
- 5 Sólidos sedimentables
- 6 Grasas y aceites
- 7 Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C
- 8 Demanda química de oxígeno
- 9 Sustancias activas de azul metileno

	T ¹		pH ²		C. ELEC. ³ MM/cm		SST ⁴		SSed ⁵		Materia Flotante		GyA ⁶		Cu Cobre		Ni Niquel		Fe Fierro		Selenatos		Zn Zinc	
	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst
les	*		6-9	6-9	*		60	80	*		*		15	18	0.8	1.0	*		1.0	1.2	*		2.0	2.0
do, sus derlvados y			6-9	6-9	*				1	1.2	*		15	20										
es, exepcto las que produzcan Acido	*		6-9	6-9	*		70	85			*		30	45	*		*		*		*		*	
téticos	*		6-9	6-9	*		60	70	*		*		*		*		*		*		*		*	
	*		6-9	6-9	*		70	84	1	1.2	*		15	20	*		*		*		*		*	
	*		6-9	6-9	*		150	180	1	1.2	*													
	*		6-9	6-9	*		150	180			*		30	36										
e Construcción	*		6-9	6-9	*		60	72			*		10	15	*		*		*		*		*	
ano	*		6-9	6-9	*		100	120			*		20	30										
ido y Soplado	*		6-9	6-9	*		40	50			*		30	40										
ntético, LLantas y Camaras	*		6-9	6-9	*		30	35			*		30	45										
	*		6-9	6-9	*		60	72			*		10	15	*		*		*		*		*	
	*		6-9	6-9	*		30	36			*		30	40			2.0	2.4						1.0
	*		6-9	6-9	*		100	120	1	1.2	*		20	30	*		*		*		*		*	
	*		6-9	6-9	*		200	240	8	8.2	*		40	50	*		*		*		*		*	
Estiraje de Cobre y sus Aleaciones	*		6-9	6-9	*		180	140	1	1.2	*		30	40										
ales de Fricción y Selladores	*		6-9	6-9	*		50	60	1	1.2	*		20	30	0.5	1.0	2.0	2.5	1.0	1.2				1.0
eles	*		6-9	6-9	*		30	35			*		20	30	1.0	1.2	2.0	2.5						1.0
apacado de Cárnicos	*		6-9	6-9	*		150	180	1	1.2	*		40	50	*		*		*		*		*	
limenticias	*		6-9	6-9	*		50	70			*		*		*		*		*		*		*	
r de Celulosa Virgen	*		6-9	6-9	*		200	240	5	8.0	*		30	40										
r de Fibra Celulósica Reciclada	*		6-9	6-9	*		200	240	1	1.2	*		20	30										
	*		6-9	6-9	*		100	120			*		20	25										
	*		6-9	6-9	*		125	150	4	5	*		20	30	*		*		*		*		*	
servas de Pescado y Mariscos	*		6-9	6-9	*		200	240	8	8.2	*		40	50	*		*		*		*		*	
ceite de Pescado	*				*		30	45			*		15	20										
	*		6-9	6-9	*		150	180	1	2	0	0	10	20										
	*		6-9	6-9	*		100	120	1	2	0	0	20	30	*		*		*		*		*	
	*		6-9	6-9	*		200	240	1	2	0	0	40	80	*		*		*		*		*	
Mant. Automotriz, Gasolinerias	*		6-9	6-9	*		40	60	1	2	0	0	15	20	*		*		*		*		*	
el Tratamiento de aguas residuales	*		6-9	6-9	*		50	100	1	2	*		40	80	*		*		*		*		*	
Municipal para su Disposición																								
			40	6-9	6-9	10000	15000	*					60	100	5	10	4	8	*		*		*	
			6.5-8.5			2000		120					*		0.2		0.2		5.0		*		*	

- *Condiciones Particulares de Descarga
- 1 Temperatura
 - 2 Potencial de Hidrógeno
 - 3 Conductividad Eléctrica
 - 4 Sólidos suspendidos totales
 - 5 Sólidos sedimentables
 - 6 Grasas y aceites
 - 7 Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C
 - 8 Demanda química de oxígeno
 - 9 Sustancias activas de azul metileno

Tabla I.1

P A R A M E

UNIDADES (no indicadas; en m...
 Día = Promedio Diario; Inst = Valor ins...

C. ELEC. ³ M/cm		SST ⁴		SSed ⁵ ml/l		Materia Flotante		GyA ⁶		Cu Cobre		Ni Niquel		Fe Fierro		Selenatos		Zn Zinc		Cd Cadmio		Pb Plomo		Ag Plata		Sb Antimonio		Al Aluminio		Ba Bario		Mn Manganeso	
Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst		
*		60	80	*		*		15	18	0.8	1.0	*		1.0	1.2	*		2.0	2.4	*		*		*		*		*		*			
*				1	1.2	*		15	20																								
*		70	85			*		30	45	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		60	70	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		70	84	1	1.2	*		15	20	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		150	180	1	1.2																												
*		150	180					30	36																								
*		60	72					10	15	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		100	120					20	30																								
*		40	50	*				30	40																								
*		30	35					30	45													0.6	0.7										
*		60	72					10	15	*		*		*		*		*		*													
*		30	36					30	40			2.0	2.4					1.0	1.2			0.6	0.7										
*		100	120	1	1.2			20	30	*		*		*		*		*		*													
*		200	240	8	8.2			40	50	*		*		*		*		*		*													
*		180	140	1	1.2			30	40																								
*		50	60	1	1.2			20	30	0.5	1.0	2.0	2.5	1.0	1.2			1.0	1.2	0.1	0.2	0.6	0.7	0.2	0.4	*	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0		
*		30	35					20	30	1.0	1.2	2.0	2.5					1.0	1.2	0.1	0.2	0.6	0.7										
*		150	180	1	1.2			40	50	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		50	70					*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		200	240	5	8.0			30	40																								
*		200	240	1	1.2			20	30																								
*		100	120					20	25																								
*		125	150	4	5			20	30	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		200	240	8	8.2			40	50	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		30	45					15	20																								
*		150	180	1	2	0	0	10	20	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		100	120	1	2	0	0	20	30	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		200	240	1	2	0	0	40	50	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		40	60	1	2	0	0	15	20	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
*		50	100	1	2	*		40	80	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
0000	15000			5	10			60	100	5	10	4	8	*		*		6	12	0.5	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	*	10	20	*				
000		120						*		0.2		0.2		5.0		*		2.0		0.01		5.0	*		0.02		5.0		*		0.2		

e Descarga

oxigeno a los 5 dias y a 20°C
 no
 metileno

Tabla I.I

P A R A M E T R O

UNICADES (no indicadas; en mg/l)

Día = Promedio Diario; Inst = Valor Instantáneo

Materia Flotante	GyA ⁶	Cu Cobre	Ni Niquel	Fe Fierro	Selenatos	Zn Zinc	Cd Cadmio	Pb Plomo	Ag Plata	Sb Antimonio	Al Aluminio	Ba Bario	Mn Manganeso	As Arsénico	B Boro	Hg Mercurio	C Cromo To
Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst
*	15 18	0.8 1.0	*	1.0 1.2	*	2.0 2.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	15 20																
*	30 45	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
*	15 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	30 36																
	10 15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	20 30																
	30 40																
	30 45							0.6 0.7									
	10 15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	30 40		2.0 2.4			1.0 1.2		0.6 0.7									1.0
	20 30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
	40 50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	30 40																1.0
	20 30	0.5 1.0	2.0 2.5	1.0 1.2		1.0 1.2	0.1 0.2	0.6 0.7	0.2 0.4	*	2.0 2.5	2.0 2.5	2.0 2.5	*			1.0
	20 30	1.0 1.2	2.0 2.5			1.0 1.2	0.1 0.2	0.6 0.7						0.1 0.2			1.0
	40 50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	30 40																1.0
	20 30																
	20 25																
	20 30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	40 50	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	15 20																
0	0																
0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
0	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	40 80	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	60 100	5 10	4 8	*	*	6 12	0.5 1.0	1.0 2.0	1.0 2.0	*	10 20	*	*	0.5 1.0	*	0.01 0.02	2.5
	*	0.2	0.2	5.0	*	2.0	0.01	5.0	*	0.02	5.0	*	0.2	0.1	1.5	*	0.1

Tabla 1.1

P A R A M E T R O

UNIDADES (no indicadas; en mg/l)

Dia = Promedio Diario; Inst = Valor instantáneo

Elemento	Fe Fierro	Selenatos	Zn Zinc	Cd Cadmio	Pb Plomo	Ag Plata	Sb Antimonio	Al Aluminio	Ba Bario	Mn Manganeso	As Arsénico	B Boro	Hg Mercurio	Cr Cromo Total	Cr Cromo Hexavalente	DBO ₅ ⁷
Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst
	1.0 1.2	*	2.0 2.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	60 72
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2	0.05 0.075	60 72
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	60 70
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	150 180
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	60 70
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120
	*	*	*	*	0.6 0.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	30 40
2.4	*	*	1.0 1.2	*	0.6 0.7	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2	*	50 60
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2	*	100 120
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	180 240
2.5	1.0 1.2	*	1.0 1.2	0.1 0.2	0.6 0.7	0.2 0.4	*	2.0 2.5	2.0 2.5	2.0 2.5	*	*	*	1.0 1.2	0.1 0.2	
2.5	*	*	1.0 1.2	0.1 0.2	0.6 0.7	*	*	*	*	*	0.1 0.2	*	*	1.0 1.2	*	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0 1.5	0.1 0.2	200 240
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	125 150
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	30 45
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	150 180
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	40 60
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	130 180
8	*	*	6 12	0.5 1.0	1.0 2.0	1.0 2.0	*	10 20	*	*	0.5 1.0	*	0.01 0.02	2.5 5.0	0.5 1.0	120
	5.0	*	2.0	0.01	5.0	*	0.02	5.0	*	0.2	0.1	1.5	*	0.1	*	

Tabla 1.1

A M E T R O

CADES (no indicadas; en mg/l)
 medio Diario; Inst = Valor instantáneo

	Aluminio	Ba Bario	Mn Manganeseo	As Arsénico	B Boro	Hg Mercurio	Cr Cromo Total	Cr Cromo Hexavalente	DBO ₅ ⁷	DQO ⁸	SAAM ⁹	Colif. Fecales NMP/100ml	Sulfuro	Fosfo
	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1000 1000		
									60 72	*		10000 20000		
duzcan Acido	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2	0.05 0.075	60 72	100 120		1000 1000	0.2 0.4	
	*	*	*	*	*	*	*	*	60 70	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120	200 240		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	150 180	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	150 180	*		10000 20000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	60 70	100 120		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120	*		10000 20000		
aras	*	*	*	*	*	*	*	*	30 40	100 120		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	50 60	180 120		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2					1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	1.0 1.2		100 120	200 240		1000 1000	0.2 0.4	
	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	180 240	*		1000 1000		
s Aleaciones ladadores	*	2.0 2.5	2.0 2.5	2.0 2.5	*	*	1.0 1.2	0.1 0.2		*		1000 1000		
	*	*	*	0.1 0.2	*	*	1.0 1.2					1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*		180 240		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*		100 120		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	1.0 1.5	0.1 0.2	200 240	*		1000 1000	0.1 1.5	
	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240	*		10000 20000		
Reciclada	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120	*		10000 20000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	125 150	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240	*		1000 1000		
ariscos	*	*	*	*	*	*	*	*	30 45	*		1000 2000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	150 180	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	100 120	*		1000 1000		
	*	*	*	*	*	*	*	*	200 240	*		1000 1000		
olinerias as residuales posición	*	*	*	*	*	*	*	*	40 60	80 120		1000 2000		
	*	*	*	*	*	*	0.01 0.02	2.5 5.0	130 180	260 360	10 15	1000 1000		
	10 20	*	*	0.5 1.0	*	*	*	0.5 1.0	*	*	30 60			
	5.0	*	0.2	0.1	1.5	*	0.1	*	120	*	*			

T R O

mg/l)

Instantáneo

Mn	As	B	Hg	Cr	Cr	DBO ₅ ⁷	DQO ⁸	SAAM ⁹	Colif.	Sulfuro	Fosfatos	Fluoruro	Cianuro	Cloro	Flour	
Manganeso	Arsénico	Boro	Mercurio	Cromo Total	Cromo Hexavalente				Fecales NMP/100ml					Libre Residual		
Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	Dia Inst	
*	*	*	*	*	*	60	72	*	1000	1000				*	*	
						60	72	*	10000	20000				*	*	
*	*	*	*	1.0	1.2	60	72	100	100	120	1000	1000	0.2	0.4		
*	*	*	*	*	*	60	70	*	1000	1000		10	15			
*	*	*	*	*	*	100	120	200	1000	1000		10	15			
						150	180	*	1000	1000						
						150	180	*	10000	20000						
*	*	*	*	*	*	60	70	100	1000	1000						
						100	120	*	10000	20000						
						30	40	100	1000	1000						
								*	1000	1000		10	15			
				*	*	50	60	180	1000	1000						
				1.0	1.2			*	1000	1000						
				1.0	1.2	100	120	200	1000	1000	0.2	0.4	*	0.3	0.5	
				*	*	200	240	*	1000	1000						
				*	*	180	240	*	1000	1000						
0.0	2.5			1.0	1.2			*	1000	1000				*	0.3	0.5
	0.1	0.2		1.0	1.2			*	1000	1000						
*	*	*	*	*	*			180	1000	1000						
*	*	*	*	*	*			100	1000	1000						
				1.0	1.5	200	240	*	1000	1000	0.1	1.5				
				*	*	200	240	*	10000	20000						
				*	*	100	120	*	10000	20000						
				*	*	125	150	*	1000	1000						
				*	*	200	240	*	1000	1000						
				*	*	30	45	*	1000	2000						
				*	*	150	180	*	1000	1000						
				*	*	100	120	*	1000	1000						
				*	*	200	240	*	1000	1000						
				*	*	40	60	80	1000	2000						
				*	*	130	180	260	1000	1000						
			0.01	0.02	2.5	5.0	0.5	1.0	10	15						
	0.5	1.0	*	*	*			30	60							
	0.1	1.5		0.1	*	120		*				3.0	6.0			
2												3.0				

Cromo valente	DBO ₅ ⁷		DQO ⁸		SAAM ⁹		Colif. Fecales NMP/100ml		Sulfuro		Fosfatos		Fluoruro		Cianuro		Cloro Libre Residual		Flour		Fósforo Total		Nitrógeno Total		Nitrógeno Amoniacal		F		
	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst	Dia	Inst		Dia	
		60	72	*	*			1000	1000								*				10	12							
		60	72	100	120			1000	1000	0.2	0.4						*											0.5	
0.075		60	70	*	*			1000	1000					10	15						40	48	30	40					0.5
		100	120	200	240			1000	1000					10	15						*	*	*	*					
		150	180					1000	1000												*	*	*	*					
		150	180	*	*			10000	20000												*	*	*	*					
		60	70	100	120			1000	1000												*	*	*	*					
		100	120					10000	20000												*	*	*	*					
		30	40	100	120			1000	1000												5	7					20	25	
				*	*			1000	1000					10	15														
		50	60	180	120			1000	1000																		20	30	0.5
				*	*			1000	1000												*	*	*	*					
		100	120	200	240			1000	1000	0.2	0.4										*	*	*	*					
		200	240	*	*			1000	1000												*	*	*	*					
		180	240					1000	1000												*	*	*	*					
1.0.2				*	*			1000	1000												*	*	*	*					
				180	240			1000	1000												*	*	*	*					
				100	120			1000	1000												*	*	*	*					
		200	240	*	*			1000	1000	0.1	1.5										*	*	*	*					
		200	240					10000	20000												*	*	*	*					
		100	120	*	*			10000	20000												*	*	*	*					
		125	150	*	*			1000	1000												*	*	*	*					
		200	240	*	*			1000	1000												*	*	*	*					
		30	45					1000	2000												*	*	*	*					
		150	180	*	*			1000	1000												*	*	*	*					
		100	120					1000	1000												*	*	*	*					
		200	240					1000	1000												*	*	*	*					
		40	60	80	120			1000	2000												*	*	*	*					
		130	180	260	360	10	15	1000	1000												*	*	*	*					
1.0				*	*	30	60														*	*	*	*					
		120		*	*									3.0	6.0						*	*	*	*					
				*	*									3.0							*	*	*	*					

st	Fluoruro	Cianuro	Cloro Libre Residual	Flour	Fósforo Total		Nitrógeno Total		Nitrógeno Amoniacal		Fenoles		Bifenilos Policlorados	
	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst	Día	Inst
			*		10	12		*			0.5	0.75	Ausente	Ausente
			*		*			*			0.5	0.75		
	10 15				40	48	30	40			0.5	0.75		
	10 15				*		*							
					*		*							
					*		*							
	10 15				5	7			20	25				
	*	0.3	0.5						20	30	0.5	0.75		
	*	0.3	0.5											
											1.0	1.2		
					*		*							
					*		*							
					*		*							
					*		*							
					*		*							
	3.0 6.0				*		*							
	3.0				*		*				5	10		
					*		*							

Los insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc., son de composición química muy variada. Hay compuestos orgánicos como los hidrocarburos clorados, fosfatos orgánicos, carbonatos, etc. también los hay inorgánicos como los arseniatos, fluoruros, boratos, sulfatos y otros compuestos de azufre.

Estos componentes ocasionan efectos tóxicos en los organismos que viven en dichos cuerpos receptores y provocan el crecimiento excesivo de plantas acuáticas.

La Tabla 1.2 muestra las características físico-químicas promedio de una agua de retorno agrícola.

TABLA 1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS PROMEDIO DE LAS AGUAS DE RETORNO AGRÍCOLA

PARAMETRO	CONCENTRACION*
pH (unidades)	8.06
Sólidos totales	2751.00
Sólidos suspendidos totales	270.00
Sólidos suspendidos volátiles	112.00
Sólidos disueltos totales	2481.00
Sólidos disueltos volátiles	646.00
Sólidos sedimentables (ml/l)	1.63
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	2467.00
Grasas y aceites	30.25
NO ₂	129.00
N - org.	7.65
N - NH ₃	93.00
N - NO ₃	1.69
SO ₄ ⁻²	125.00
CO ₃ ⁻²	0.25
HCO ₃	648.60
Boro	1.64
Cl ⁻	228.30
K	32.00
Mg	34.80
NI	0.13
Cr	0.07
Pb	0.40
Zn	0.17
SAAM	2.66
PO ₄ totales	5.24

* En mg/l a menos que se especifiquen otras unidades.

Las aguas residuales varían grandemente, tanto en composición como en volumen, de hora en hora de acuerdo con los cambios de actividades de la comunidad. La mayor fuerza y volumen del agua residual será durante el día y su mínimo será en la noche.

Igualmente varía la composición de las aguas residuales de día a día de acuerdo con la clase de actividades industriales y las de la comunidad donde se originan.

FUENTES NATURALES

Las fuentes naturales de contaminación del agua, son aquellas que emiten de manera natural sustancias que degradan la calidad de las aguas limpias contenidas en los depósitos o corrientes de agua, y son:

Erosión acuática: Las aguas que corren por la superficie terrestre, la desgasta o la destruye lentamente, depositándose estos materiales en las partes bajas una vez que el agua pierde velocidad y fuerza.

Erosión eólica: La fuerza del viento desgasta lentamente la superficie terrestre y deposita los productos de éste en las aguas receptoras, degradando la calidad de éstas.

Erupción volcánica: Son cenizas y demás materiales expulsados, y depositados, por el viento y las lluvias, a un cuerpo de agua provocando se contaminación.

Marea roja: Es un fenómeno de contaminación de las aguas marinas, provocado por el excesivo crecimiento plátonico de algunos organismos bioflajelados.

Contaminación mineral: En algunas regiones como por ejemplo la Comarca Lagunera existen yacimientos subterráneos de minerales (arsénico) que pueden ser arrastrados por las corrientes de aguas subterráneas y llevarlas a cuerpos de aguas limpias ocasionando graves contaminaciones tóxicas en las aguas.

1.2 Aspecto y composición de las aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas generalmente tienen un color gris cuando son frescas y tienen un olor a moho no desagradable. Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, arcilla y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Al pasar el tiempo el color cambia gradualmente del gris al negro, y se desarrolla un olor desagradable; aparecen sólidos negros flotando.

Las aguas residuales domésticas están compuestas por:

Desechos humanos y animales: Son las exoneraciones corporales humanas que llegan a formar parte de las aguas residuales domésticas mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y tetrinas. Aunque en menor grado también influyen las exoneraciones de animales, que van a dar a las alcantarillas al ser arrastradas por las aguas pluviales.

Estos desechos son importantes para la salud pública debido a que pueden contaminar los cuerpos receptores con organismos perjudiciales al hombre, causando enfermedades tales como: cólera, tifoidea, disentería bacilar, disentería amibiana, gastroenteritis, entre otras.

Desperdicios caseros: Proviene de la actividad doméstica de lavado de ropa, de trastes, baño, limpieza y preparación de alimentos, etc. La mayoría de estos desechos contienen detergentes sintéticos no

biodegradables, los cuales contienen agentes espumantes que impiden la oxigenación de los cuerpos de agua y provocan graves daños a la ecología de los mismos. Otros componentes importantes de estos desechos son las partículas de alimentos y grasas que también impiden la oxigenación.

Aguas residuales de origen pluvial: Las lluvias al caer lavan la superficie de la tierra, arrastran cantidades variables de polvo, arenas, hojas y otras basuras a los sistemas de alcantarillado. El volumen de lluvias varía según la intensidad de la misma, la topografía de la región y las superficies techadas y pavimentadas. Sería bueno que estas aguas fueran colectadas por separado, sin embargo, a menudo se integran a las aguas residuales domésticas mediante el sistema de alcantarillado.

Infiltración de aguas subterráneas: Este problema se presenta cuando las juntas entre secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, lo que provoca que las aguas subterráneas se infiltren hacia el alcantarillado. El volumen de este efluente varía y no se precisa debido a que depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarilla, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y otras condiciones climáticas.

Estas infiltraciones resultan peligrosas cuando el agua descarga en un almacenamiento de agua subterránea al estar al contacto con una beta natural de arsénico y estar sometido a sobreexplotación, es el caso que se presentó en las aguas subterráneas de la comarca lagunera.

En general, las aguas residuales municipales se caracterizan por elevadas concentraciones de sólidos, materia orgánica, grasas, aceites y detergentes.

La composición del agua residual es la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua después de que ha dado el uso respectivo. La Tabla I.3 nos proporciona la composición de las aguas residuales domésticas.

Dependiendo de los constituyentes indicados en la Tabla I.3, el agua residual se clasifica en fuerte, media y débil. Tanto los constituyentes

como las concentraciones varían con la hora del día, el de la semana, el mes del año y otras condiciones locales. Por tanto la tabla pretende servir de guía y no como base de proyecto.

TABLA 1.3 COMPOSICION TIPICA DE LAS AGUAS RESIDUALRES DOMESTICAS NO TRATADAS

Constituyente	concentración*		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En suspensión totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables, m/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, a 5 días y a 20°C (DBO ₅ a 20°C)	400	220	210
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P):	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasa	150	100	50

*Todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en mg/l

En el pasado, se creía que los constituyentes mencionados en la tabla 1.3 eran suficientes para caracterizar el agua residual con vistas a su tratamiento biológico, pero dado el crecimiento del conocimiento de la química y de la microbiología se han realizado análisis adicionales.

La determinación de la concentración de sulfatos es necesaria para evaluar la posibilidad de utilización de tratamientos anaeróbios.

La presencia de organismos filamentosos en el agua residual se determina especialmente cuando se piensa utilizar un tratamiento biológico.

El incremento mineral resulta del uso doméstico, de la adición de agua altamente mineralizada, procedente de pozos privados y aguas subterráneas, y del uso industrial. Los ablandadores de aguas domésticos e industriales también constituyen un incremento en el contenido mineral del agua residual.

En la Tabla 1.4 se dan datos típicos del incremento del contenido mineral que puede esperarse en el agua residual municipal resultante del uso doméstico.

TABLA 1.4 INCREMENTO DEL CONTENIDO MINERAL PARA EL USO DOMESTICO DEL AGUA²

Constituyente	Intervalo de Incremento mg/l
Aniones:	
Bicarbonato (HCO ₃)	50-100
Carbonato (CO ₃)	0 -10
Cloruro (Cl)	20-50
Nitrato (NO ₃)	20-40
Fosfato (PO ₄)	20-40
Sulfato (SO ₄)	15-30
Cationes:	
Calcio (Ca)	15-40
Magnesio (Mg)	15-40
Potasio (K)	7-15
Sodio (Na)	40-70
Otros datos:	
Aluminio (Al)	0.1-0.2
Boro (B)	0.1-0.4
Hierro (Fe)	0.2-0.4
Silice (SiO ₂)	2-10
Alcalinidad total	100-150
Sólidos disueltos totales (SDT)	150-400

² Metcalf-Eddy Ingeniería Sanitaria Ed. Labor pág.71

1.3 Los sólidos de las aguas residuales.

La característica física más importante del agua residual como posteriormente se verá es su contenido de sólidos .

La importancia de su determinación radica en lo que puede afectar al cuerpo receptor, principalmente cuando las aguas tienen un uso recreativo o para conservación de flora y fauna.

Son de gran importancia en los costos de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, por que los métodos de tratamiento están en función directa de la cantidad de sólidos que se vayan a eliminar en el tratamiento.

Los sólidos en las aguas residuales es toda materia sólida y disuelta presente en las aguas residuales, los cuales están compuestos por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución.

Análíticamente el contenido de sólidos totales de un agua residual se define como el total de la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. La materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido. Los sólidos totales pueden clasificarse como sólidos suspendidos ó sólidos filtrantes, a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Por lo general, el filtro se elige de modo que el diámetro mínimo de los sólidos suspendidos sea aproximadamente un micrómetro; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un recipiente en forma de cono llamado como Imhoff figura 1.2 durante un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

La fracción de sólidos filtrantes se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un

diámetro aproximado que oscila entre 10^{-3} y un micrómetro. Los sólidos disueltos se componen de partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. Por lo general se requiere de una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

La figura 1.3 nos presenta la clasificación en cuanto a tamaño de las partículas presentes en el agua residual.

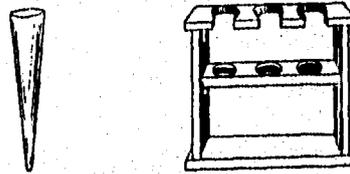


Figura 1.2 Cono Imhoff y soporte de madera

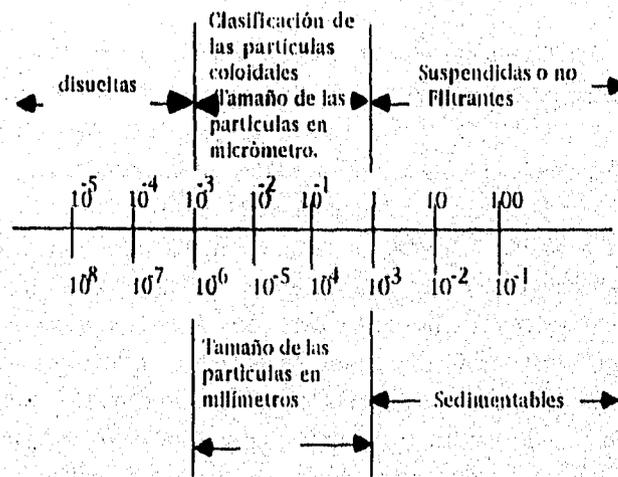


Figura 1.3 Clasificación e intervalo de tamaño de las partículas presentes en el agua residual

A su vez, cada una de estas clases de sólidos puede clasificarse de nuevo en base a su volatilidad a 600°C. La fracción orgánica se evaporará dicha temperatura, quedando la fracción inorgánica como ceniza. Por tanto los términos sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos se refieren, respectivamente, al contenido orgánico e inorgánico (mineral) de los sólidos suspendidos. A 600°C, la descomposición de las sales inorgánicas se limitan al carbonato de magnesio que se descompone en óxido de magnesio y dióxido de carbono a 350°C. El análisis de los sólidos volátiles se aplica más frecuentemente a los fangos del agua residual para medir su estabilidad biológica.

El contenido de sólidos de un agua residual de concentración media puede clasificarse aproximadamente como indica la figura 1.4.

Las definiciones de los sólidos contenidos en el agua residual por su condición física son:

Sólidos totales: Son todos aquellos sólidos que quedan como residuos al ser evaporada una muestra de agua a una temperatura de 103-105°C. De acuerdo con sus características físicas se pueden clasificar como: *suspendidos y filtrantes*.

Sólidos suspendidos: son los de tamaño superior a una micra, por lo que son perceptibles a simple vista y pueden ser separados por medios físicos o mecánicos. Se expresan en miligramos por litro de agua residual (mg/l) o en partes por millón de sólidos (ppm). Los sólidos suspendidos pueden clasificarse como: sólidos sedimentables y no sedimentables.

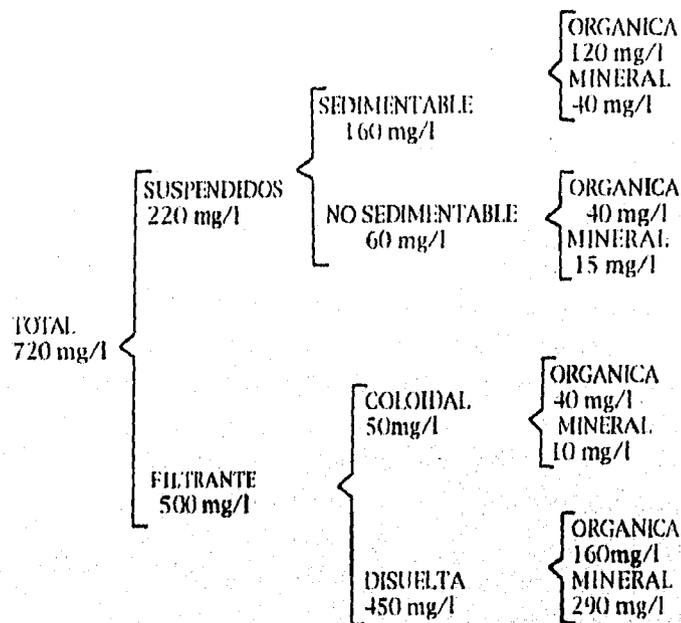


Figura I.4 Clasificación de los sólidos en un agua residual de concentración media

Sólidos sedimentables: Son la porción de los sólidos suspendidos que debido a la operación de sedimentación se depositan en el fondo de un recipiente llamado como Imhoff en un término de una hora. Su medición es importante por los siguientes motivos:

- 1) Sirve para determinar la necesidad de la instalación de unidades de tratamiento para la sedimentación de los sólidos.
- 2) Es ampliamente usada para el diseño de unidades de sedimentación y para evaluación de las eficiencias de los mismos.
- 3) Puede ser tomada como una medida aproximada de la cantidad de lodo que es factible de ser eliminado mediante sedimentación. Generalmente los sólidos sedimentables se

expresan en mililitros de sólidos por litro de aguas residuales (ml/l) aunque también se dan en ppm de sólidos.

Sólidos no sedimentables: Es la porción de los sólidos suspendidos que no se sedimentan en el cono Imhoff.

Sólidos filtrantes: Son aquellos sólidos que tienen un diámetro menor a una micra, por lo que son imperceptibles a simple vista y no pueden ser separados por medios físicos o mecánicos. Se dividen en: *sólidos disueltos y coloidales.*

Sólidos disueltos: Se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. Generalmente se expresan en ml/l o en ppm.

Sólidos coloidales: Son partículas con un diámetro que oscilan entre 1 y 0.001 micras. Debido a su pequeño tamaño, estos sólidos no se pueden eliminar por sedimentación. Por lo general para su eliminación se requiere de una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación.

Clasificación de los sólidos por su constitución:

Sólidos orgánicos: Son de origen animal o vegetal; pueden incluirse compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno, algunos combinados con nitrógeno, azufre y fósforo. Llegan a descomponerse por la actividad bacteriana y otros organismos vivos.

Sólidos inorgánicos (minerales): Son sustancias inertes que no se degradan, se les conoce como sustancias minerales que producen la dureza y el contenido mineral del agua.

La fuerza de un agua residual depende del contenido de sólidos tanto orgánicos como inorgánicos.

Se habla de un agua residual fuerte cuando contiene sólidos orgánicos en gran cantidad.

Una agua residual débil son las que contienen cantidades pequeñas de sólidos orgánicos.

El término sólidos, en todas sus formas involucra 10 determinaciones, que representan un análisis completo del contenido de residuos en una muestra de agua.

1.- Sólidos Totales (ST): Definidos anteriormente, y se determinan con la fórmula:

$$\text{ppm (ST)} = \frac{(P_2 - P_1) 10^6}{V_1}$$

Donde:

- P_1 = Peso de la tara en condiciones de pesos constante en gr.
- P_2 = Peso de la tara después de la evaporación, en gr.
- V_1 = Volumen de la muestra para el análisis, en ml.
- 10^6 = Factor de conversión.

2.- Sólidos totales volátiles (STV): Es la parte orgánica de los sólidos totales, que se expulsa como gas al calcinar una muestra de agua residual a 600°C durante un tiempo de 15 min.

Se calculan con la fórmula:

$$\text{ppm (STV)} = \frac{(P_2 - P_3) 10^6}{V_1}$$

Donde:

- P_2 = Peso de la tara antes de la calcinación, en gr.
- P_3 = Peso de la tara después de la calcinación, en gr.
- V_1 = Volumen de la muestra para en análisis, en ml.
- 10^6 = Factor de conversión.

3.- Sólidos totales fijos (STF) : Son la parte inorgánica de los sólidos totales que quedan como ceniza al calcinar una muestra de agua residual a 600°C.

Se calculan por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales volátiles.

$$STF = ST - STV$$

O también con la fórmula:

$$\text{ppm (STF)} = \frac{(P_3 - P_1) 10^6}{V_1}$$

4.- Sólidos suspendidos totales (SST): Es la materia que puede ser retenida a través de un disco de fibra de vidrio después de una filtración y posteriormente secada a una temperatura de 105°C.

Se calcula con la fórmula:

$$\text{ppm (SST)} = \frac{(P_2 - P_1) 10^6}{V_1}$$

Donde:

P_1 = Peso del crisol gooch en condiciones de peso constante, en gr.

P_2 = Peso del crisol gooch con residuo, en gr.

V_1 = Volumen de muestra para la filtración, en ml.

10^6 = Factor de conversión.

5.- Sólidos suspendidos volátiles (SSV): Son parte de los sólidos suspendidos totales que se expulsan como gas al calcinar los residuos que quedan después de secar la muestra a 105°C.

Se calculan con la fórmula:

$$\text{ppm (SSV)} = \frac{(P_2 - P_3) 10^6}{V_1}$$

Donde:

P_2 = Peso del crisol gooch antes de la calcinación, en gr.

P_3 = Peso del crisol gooch después de la calcinación, en gr.

V_1 = Volumen de la muestra para el análisis, en ml.

10^6 = Factor de conversión.

6.- Sólidos suspendidos fijos (SSF): Son la parte de los sólidos suspendidos que quedan como ceniza al calcinar los residuos que quedan después de secar la muestra de agua residual a 105°C.

Se calculan por la diferencia entre sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles.

$$\text{ppm (SSF)} = \text{ppm (SST)} - \text{ppm (SSV)}$$

O también con la fórmula:

$$\text{ppm (SSF)} = \frac{(P_3 - P_1) 10^6}{V_1}$$

7.-Sólidos disueltos totales (SDT): Son los sólidos de las aguas residuales que están completamente disueltos y no se pueden sedimentar.

Se calculan por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

$$\text{ppm (SDT)} = \text{ppm (ST)} - \text{ppm (SST)}$$

8.- Sólidos disueltos volátiles (SDV): Son la parte orgánica de los sólidos disueltos y se calculan por la diferencia entre los sólidos totales volátiles y los sólidos suspendidos volátiles.

$$\text{ppm (SDV)} = \text{ppm (STV)} - \text{ppm (SSV)}$$

9.- Sólidos disueltos fijos (SDF): Es la parte inorgánica de los sólidos disueltos, y se calcula a partir de la diferencia de los sólidos totales fijos y los sólidos suspendidos fijos.

$$\text{ppm (SDF)} = \text{ppm (STF)} - \text{ppm (SSF)}$$

10.- Sólidos sedimentables (SSed): Descritos anteriormente. Se determinan mediante sedimentación haciendo la lectura directa sobre el cono Imhoff.

En forma general diremos que la determinación de los residuos es la siguiente:

Los residuos por evaporación se obtienen al calentar 100 ml de la muestra a 105°C en una cápsula seca y tarada. La diferencia de pesos entre el registrado para la cápsula seca y limpia y el de la cápsula que contiene los residuos, dará el contenido de este material para esos 100 ml que después se transforman en ml/l.

Los residuos totales volátiles y fijos se determinan calcinando los residuos totales de evaporación a 600°C en una mufla durante 10 a 15 min.; nuevamente por diferencia de pesos se conocen los contenidos. Directamente la diferencia da la parte fija y el resto al peso original, la volátil.

La materia suspendida se determina por filtración a través de una capa de asbesto de unos 2 mm de espesor sobre el fondo perforado de un crisol gooch. Se requiere de un succionador para favorecer el paso de

100 ml de muestra. Una vez seco se determina por diferencia de pesos el contenido.

La materia suspendida volátil y suspendida fija, se determinan calcinando el crisol Gooch a 600°C durante 15 a 20 min.

La materia sedimentable generalmente se determina en ml/l usando el cono Imhoff y un filtro de muestra.

Se deja en reposo 45 min después de los cuales se agita ligeramente para desprender los sólidos retenidos en la pared del cono y después 15 min para completar una hora, se hace la lectura de los sólidos sedimentables directamente sobre la graduación del cono.

1.4 Gases disueltos

Los gases más frecuentes encontrados en el agua residual sin tratar son el nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), y metano (CH_4). Los tres primeros son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual. Podemos encontrar otros como son Bióxido de carbono, cloro y bióxido de azufre.

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida, el oxígeno es poco soluble en el agua. La cantidad real de oxígeno (también de otros gases) que puede estar presente en la solución y viene regida por:

- 1) La solubilidad del gas.
- 2) La presión parcial del gas en la atmósfera.
- 3) La temperatura
- 4) La pureza del agua.

Otra de las razones por las que se busca que exista oxígeno disuelto en el agua es la preservación de los peces. Se sabe que los peces viven en aguas cuyo contenido de oxígeno disuelto sea mayor o igual a 5 ppm; si tiene menos (ejemplo 4 ppm), el pez puede vivir pero durante dos horas; es decir puede resistir menos contenidos pero por poco tiempo si no se restituye la concentración de OD de las aguas, puede también relacionarse con la corrosividad, con la actividad fotosintética y con el grado de septibilidad que posean, pues lo agota la materia orgánica al iniciar su transformación.

En el agua salada el oxígeno es menos soluble que en el agua dulce, en aguas negras la solubilidad es aproximadamente el 95% respecto al de aguas dulces.

La concentración del oxígeno disuelto en una muestra puede expresarse en ml/l; en ppm, o como porcentaje de la saturación.

La presencia del oxígeno disuelto en el agua residual es deseable por que evita la formación de olores desagradables.

A continuación se transcribe la tabla 1.5 que da la cantidad de OD en el agua dulce a nivel del mar, bajo presión atmosférica de 760mm de mercurio, conteniendo la atmósfera seca 20.9% de oxígeno.

Para otras altitudes se considera que la solubilidad es directamente proporcional a la presión. En la ciudad de México, a una altitud de 2240 m y una temperatura media de unos 20°C, la cantidad de oxígeno disuelto de saturación del agua es de aproximadamente 7 ppm.

La determinación de la prueba de oxígeno disuelto es una de las más significativas especialmente cuando se combina con la prueba de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y de estabilidad relativa. Es posible, que diferentes estratos de una misma masa de agua, tenga distintas concentraciones de oxígeno, pudiendo presentarse putrefacción en un estrato, antes de que haya agotado el oxígeno en otro.

TABLA 1.5 SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN AGUA DULCE
A NIVEL DEL MAR
(Cantidad de OD en el agua pura)

T(°C)	OD(mg/l)	T(°C)	OD(mg/l)	T(°C)	OD(mg/l)
0	14.62	10	11.33	20	9.17
1	14.23	11	11.08	21	8.99
2	13.84	12	10.83	22	8.83
3	13.48	13	10.60	23	8.68
4	13.13	14	10.37	24	8.53
5	12.80	15	10.15	25	8.38
6	12.48	16	9.95	26	8.22
7	12.17	17	9.74	27	8.07
8	11.87	18	9.54	28	7.63
9	11.59	19	9.35	29	7.77
				30	7.63

Las reacciones bioquímicas que utiliza el oxígeno se incrementan al aumentar la temperatura.

Las causas que afectan la solubilidad del oxígeno en el agua son: la turbiedad en la superficie, la temperatura, la presión atmosférica, el porcentaje de oxígeno en la atmósfera, la deficiencia del oxígeno en el agua, el área de la superficie expuesta y otras condiciones más.

La determinación del oxígeno disuelto, es una de las pruebas que deben hacerse de inmediato por la pérdida o la ganancia que hay de acuerdo con el contenido de materia orgánica, tanto productora como consumidora de oxígeno. Por lo menos debe fijarse en campo y determinarlo posteriormente en laboratorio.

Sulfuro de hidrógeno (H₂S): El sulfuro de hidrógeno se forma, por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. No se forma en presencia de oxígeno en cantidad. Se trata de un gas incoloro infamable, que contiene el olor característico de huevos podridos. El ennegresimiento del agua residual y del fango se debe generalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS). Aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas formado más importante

desde el punto de vista de los olores, pueden formarse otros compuestos volátiles, tales como el indol, escamol y mercaptanos durante la descomposición anaerobia que pueden producir olores peores que el sulfuro de hidrógeno.

Metano (CH₄): El principal subproducto que se obtiene en la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano.

El metano es un hidrocarburo incoloro e inodoro de gran valor como combustible. Normalmente no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, porque incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. A veces se produce metano como resultado de una descomposición anaerobia en depósitos acumulados en el fondo. Debido a que el metano es sumamente combustible y que el peligro de explosión es considerable, los pozos de registro y empalmes de alcantarilla o cámaras de empalme donde exista el riesgo que se forme el gas, deberán ser ventilados con un ventilador portátil antes y durante los períodos de tiempo en que los operarios trabajen en ellos, en trabajos de inspección, renovaciones o reparaciones.

En las plantas de tratamiento, deben fijarse avisos sobre el peligro de explosión existente y los operarios deberán ser instruidos sobre las medidas de seguridad que se mantendrán mientras trabajen y en los lugares donde pueda haber gas.

Las aguas negras pueden contener líquidos volátiles. Por lo general se trata de líquidos que hierven a menos de 100°C, por ejemplo la gasolina.

Nitrógeno (N₂): El nitrógeno presente en el agua residual se encuentra principalmente en forma de urea y en forma proteica.

La descomposición de estos compuestos por bacterias, cambia, a la forma de amoníaco. Las formas de representación de nitrógeno son básicamente las siguientes:

- Nitrógeno amoniacal NH_3
- Nitrógeno de nitritos NO_2
- Nitrógeno de nitratos NO_3

Amoniac (NH_3): El amoniac presente en el agua residual es producto de la descomposición de la urea y materia proteica. La edad del agua residual está dada por la cantidad de amoniac presente.

El amoniac se determina elevando el pH, destilando el amoniac con el vapor producido cuando se hierve la muestra y considerando el vapor que absorbe el amoniac gaseoso. La medida se hace colorimétricamente

1.5 Cambios químicos en la composición de las aguas residuales

La actividad de la vida biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de los sólidos. Estos cambios químicos no solamente indican las actividades de los microorganismos, sino que miden también el grado de descomposición de los sólidos y por lo tanto la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

En el tratamiento de las aguas negras, la fuerza física de la gravedad disminuye materialmente los sólidos suspendidos y en especial aquellos que corresponden a la porción sedimentable. Los cambios bioquímicos producen, sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos. Estas pérdidas de agua hace que se aglomeren o floquen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sólidos sedimentados, tanto orgánicos como inorgánicos, que se separan, se conocen respectivamente como lodos y arenas.

Para la descomposición anaerobica el oxígeno es eliminado de los compuestos complejos y se forman otros más sencillos. Tales

reacciones bioquímicas continúan y paso a paso los compuestos complejos se degradan hasta que se llega a un producto final formado por sustancias inorgánicas y orgánicas estables.

En el proceso de descomposición aerobia, el oxígeno se combina con elementos tales como nitrógeno, azufre, fósforo, hidrógeno, carbono y otros; de manera que los productos finales de los cambios bioquímicos, cuando se llevan a cabo en forma completa, son el dióxido de carbono, el agua, los nitratos, sulfatos, formatos y otras sustancias similares a las que usualmente se les llama sales minerales. Estas son generalmente semejantes o iguales a los sólidos inorgánicos de las aguas negras y sirven como fertilizantes o alimento para producir nueva materia orgánica compleja mediante el desarrollo vegetal.

Durante las etapas de la descomposición bioquímica se forman productos intermedios. En estos se incluyen ácidos orgánicos e inorgánicos, gases como el ácido sulfhídrico, el metano, el dióxido de carbono y en muchas ocasiones gases de olor ofensivo que resultan de los cambios bioquímicos de los compuestos orgánicos sulfurados.

La clase y cantidad de compuestos producidos dependen del tipo de microorganismos que lleven a cabo las reacciones.

Los productos intermedios de la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos, producen una indicación excelente al progreso de la actividad bioquímica, así como el tipo y grado de tratamiento resultante.

El tratamiento de las aguas negras no altera ni modifica los procesos naturales. Una planta de tratamiento no es sino un depósito que sirve para situar en el lugar más adecuado, un taller en el que los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica muerta se llevan hasta donde sea necesario y, hasta cierto grado, se controlan y aceleran.

En los cambios bioquímicos de las aguas negras, los gases disueltos tienen un papel muy importante. Esto es especialmente cierto para

el oxígeno disuelto, el cual cuando está presente en las aguas negras, o cuando se agrega a ellas mediante los dispositivos de tratamiento, asegura el desarrollo y las actividades de los microorganismos aerobios y con ello el progreso de la descomposición aeróbica sin dar lugar a putrefacciones.

Aunque los otros gases disueltos en la parte acuosa de las aguas negras no controlan las actividades biológicas en el grado en el que lo hace el oxígeno disuelto, su función es también importante. El ácido sulfhídrico, que es un gas de olor repugnante, es el resultado de la descomposición anaerobia de los compuestos que contienen azufre y da origen a un estado de acidez que puede afectar ulteriores reacciones bioquímicas y que ejerce acción corrosiva sobre la estructura de la planta. Cuando hay bióxido de carbono en cantidades excesivas, significa que está teniendo lugar la descomposición ácida de los sólidos, con la resultante disminución de la velocidad de degradación.

Los cambios químicos de las aguas negras se miden mejor mediante los análisis químicos.

Si se llena un recipiente de vidrio con aguas negras y se le deja en reposo y abierto al aire, aparecerá, después de poco tiempo, un sedimento negro, podrá subir a la superficie una espuma grasienta, y se desprenderán olores desagradables. Esto ocurrirá durante varias semanas, después de las cuales, el líquido puede quedar claro e inodoro. Las aguas negras se han descompuesto, han pasado a un estado más estable. La descomposición de las aguas negras, tiene como consecuencia de un metabolismo bacteriano cuya naturaleza no se conoce bien todavía.

El término biólisis de las aguas negras son los cambios mediante los cuales sus constituyentes orgánicos entran en el proceso metabólico de la vida bacteriana. La materia orgánica está compuesta casi exclusivamente de los cuatro elementos, carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; algunas veces están presentes el azufre y el fósforo. Los constituyentes orgánicos de las aguas pueden dividirse en proteínas,

hidratos de carbono y grasas. Las proteínas son principalmente constituyentes de los tejidos animales, pero se encuentra también en las semillas de las plantas. Los hidratos de carbono son compuestos orgánicos, en los que la relación del hidrógeno al oxígeno, es la misma que existe en el agua; a éste grupo pertenecen los azúcares, los almidones y las celulosas. La grasa y las sales se forman, en unión de agua, por la combinación de los ácidos grasos con la base triácida glicerina. Las grasas más comunes son la estearina, la palmarina, la oleina y la butirina. Los jabones son sales minerales de los ácidos grasos que se forman por sustitución de la glicerina por alguno de los alcalis más fuertes.

La primera fase de la biólisis de las aguas negras, está caracterizada por la rápida desaparición del oxígeno presente en el agua mezclada con la materia orgánica, para formar las aguas negras. En ésta fase, la urea, el amoníaco y otros productos de la descomposición digestivo pútrido, son óxidos parcialmente y en esta oxidación se consume rápidamente el oxígeno presente y las condiciones de las aguas negras se hacen anaerobias.

La segunda fase es la putrefacción, cuya acción se realiza en condiciones anaerobias.

La tercera fase es la oxidación o nitrificación de los productos resultantes de la putrefacción. Los productos de la descomposición se transforman en nitritos y nitratos, que quedan en forma estable y son utilizables para la alimentación de las plantas.

La descomposición del nitrógeno sigue un ciclo que es tan solo una concepción ideal, porque en la naturaleza existen muchos cortos circuitos y retrocesos que impiden la progresión continua del mismo. Se pueden describir aproximadamente del siguiente modo: a la muerte de una planta o un animal, se inicia la descomposición, acompañada de formación de urea, que se descompone a la vez dando amoníaco. Esta se llama la fase pútrida del ciclo del nitrógeno. La fase siguiente es la nitrificación, en la que los compuestos amoniacales se oxidan para formar nitritos y nitratos y

prepararse de este modo para servir de alimento a las plantas. En la fase de la planta viva, los nitritos y nitratos sufren de desnitrificación y de este modo son utilizados como alimento vegetal o animal. La fase superior del ciclo del nitrógeno, es la vida animal en la que el nitrógeno forma parte de la sustancia del animal vivo o se transforma en urea, amoniaco, etc., por las funciones vitales del organismo animal. A la muerte del animal, el ciclo vuelve a comenzar.

I.6 Muestreo y análisis de las aguas residuales

Las técnicas de muestreo utilizadas en un estudio del agua residual deben asegurar que se van a obtener muestras representativas, ya que los datos que se deriven de los análisis de aquellas serán, en definitiva, la base para el proyecto de las instalaciones de tratamiento. No hay procedimientos universales de muestreo; las campañas de muestreo deben diseñarse específicamente para cada situación.

Podemos enumerar los principios generales para un muestreo:

- 1.- Las muestras deben tomarse donde estén bien mezcladas las aguas, ejemplo donde el flujo de las aguas negras sea turbulento.
- 2.- Deben excluirse las partículas grandes, es decir las que sean mayores de 6mm. Las aguas crudas deben muestarse después de las rejillas o cribas cuando se utilizan cribas o desmenuzadores.
- 3.- No deben incluirse en el muestreo los sedimentos, crecimientos o material, flotante que se hayan acumulado en el punto de muestreo.
- 4.- Las muestras deben examinarse tan pronto como sea posible. Si se retienen por más de una hora, deben enfriarse sumergiendo el frasco de muestra en agua helada. Después de una hora son

apreciables los cambios debidos a tal descomposición. El enfriar la muestra retarda mucho la acción bacteriana.

5.- Debe procurarse que sea lo más fácil posible la recolección de muestras apropiadas. Los puntos de muestreo deben ser de fácil acceso; estará a la mano el equipo adecuado; se tomaran precauciones de seguridad y se protegerá al personal de las inclemencias del tiempo

En alcantarillas y canales estrechos y profundos, el muestreo debe realizarse en un punto situado a un tercio del calado medido desde la solera del conducto. En el momento de la muestra es importante tener cuidado en evitar la creación de turbulencia excesiva que pueda liberar los gases disueltos, lo cual falsearía la representatividad de la muestra.

Un muestreo frecuente (intervalos de 10 a 15 min), permite la estimación de la concentración media durante el el período de muestreo.

El equipo de muestreo puede consistir en un cucharón de aluminio de 15 cm de diámetro y de una profundidad de 10 cm aproximadamente, con mango largo, es conveniente para recolectar las aguas negras de los tanques y canales. Para muestras a través de registros o pozos de visita se utiliza un cubo de un litro que puede fijarse a una pértiga de madera con equipo de cierre. También se necesitan probetas graduadas, frascos para muestras y algun medio para refrigeración. Se requiere una técnica especial para recolectar muestras para oxígeno disuelto y para exámen bacteriológico.

Hay dos tipos de muestras que deben recolectarse, dependiendo del tiempo disponible de los análisis que hayan de verificarse y del propósito de los análisis.

A una se le llama **muestra instantánea** y consiste en una porción de aguas negras que se toma de una vez. Esta muestra no es representativa de las aguas negras pues refleja unicamente las condiciones en el momento del muestreo. Esta muestra debe recogerse a

determinada hora del día, cuando la planta esté operando a su máxima capacidad.

El otro tipo de muestra es la **muestra compuesta** que indica las características de las aguas negras durante cierto período de tiempo. La porción que se use debe recogerse con la frecuencia suficiente para lograr resultados promedio. Si la concentración y el gasto no fluctúan repentinamente, basta con tomar porciones cada hora durante períodos de 12 horas. Si las fluctuaciones son repentinas pueden requerirse muestras cada media hora o cada cuarto de hora. Por regla general, las muestras compuestas se usan para determinar las características de las aguas negras que se van a tratar y la eficiencia de las unidades de tratamiento.

Las aguas negras se analizan para determinar aquellos constituyentes de las mismas que puedan causar dificultades para su tratamiento o evacuación, o para facilitar la elección del tipo de tratamiento más conveniente. Se hacen análisis de muestras del líquido que pasa a través de una instalación de tratamiento, para facilitar la vigilancia y el funcionamiento de la misma. Se analizan los líquidos finales del tratamiento y las aguas que pueden producir contaminación, para comprobar el progreso de la polución y de la autopurificación.

Los parámetros indicadores de la calidad del agua son aquellos parámetros o características que permiten conocer las condiciones de calidad de cualquier agua, sin importar su uso ni procedencia. Además de dar una idea acerca de la calidad de las aguas residuales, los parámetros indicadores sirven como criterios para determinar los procedimientos más adecuados para su tratamiento, en caso de ser necesario, y como base de diseño para el dimensionamiento de los equipos de depuración. Para su estudio los parámetros indicadores de la calidad del agua se clasifican en : *físicos, químicos y biológicos.*

Los análisis que se hacen al agua de desechos, forman una larga lista que se puede dividir de la siguiente manera:

a) PARAMETROS FISICOS

Temperatura
Color
Turbiedad
Residuos
pH
Conductividad eléctrica
Radiactividad

b) PARAMETROS QUIMICOS

Entre los que se hallan:

b.1) GASES DISUELTOS

Amoníaco
Bióxido de carbono
Cloro
Hidrógeno
Sulfuro de hidrógeno
Nitrógeno
Oxígeno
Bióxido de azufre

b.2) CATIONES

Aluminio
Almonio
Bario y Estroncio
Calcio y Magnesio
Cromo
Cobre
Ionhidrógeno
Hierro
Sodio y Potasio
Plomo
Magnesio
Niquel
Zinc

b.3) ANIONES

Bromo y Yodo
Carbonato y Bicarbonato
Cloruro
Cromato y Dicromato
Cianuro
Fluoruro
Hidróxido
Nitrato

Nitrato
Fosfato
Sulfuro
Sulfato
sulfito

b.4) VARIOS
Acidez y alcalinidad
Demanda Química de Oxígeno
Requisito de cloro
Dureza
Nitrogeno de Kjeldahl
Nitrogeno orgánico
Materia oleaginoso y extractable
Fenol
Silice
Detergentes

c) BIOLÓGICOS
Que comprende:
Demanda Bioquímica de Oxígeno
Demanda Inmediata de Oxígeno Disuelto
Bacterias de Hierro
Microorganismos
Bacterias reductoras de sulfato
Toxicidad aguda para peces de agua potable
Número Más Probable (NMP)

PARAMETROS FÍSICOS

Un aspecto físico muy común es el sabor, no se escribe por ser una prueba no recomendable de hacer, ya que si se está buscando contaminación del agua, ésta puede resultar perjudicial para el organismo.

El sabor no debe incluirse como prueba física aunque esté catalogada como tal. En el reglamento de potabilidad se menciona que el agua debe tener un sabor agradable; pero se prueba teniendo la certeza de que es agua de buena calidad para beber.

No solamente es aconsejable dejar de hacer la prueba de sabor, sino que cualquiera debe existir contacto con el agua, por no saber el

grado de corrosividad que posea y que sustancias tóxicas puedan perjudicar a la piel.

Temperatura: La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, en la aplicabilidad del agua a usos útiles, en la viscosidad que influye sobre la sedimentación. La temperatura elevada indica casi siempre que se han vertido residuos calientes. Es más fácil encontrar una agua contaminada, con temperatura elevada que con temperatura baja con respecto a la media normal.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en agua fría. Las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos.

La medición de la temperatura, es una de las pruebas que tienen que hacerse forzosamente en el campo.

La temperatura se mide con un termómetro de laboratorio que tiene una precisión de 1/10 de grado.

Color: El tono del agua es muy diferente entre las corrientes variando aún en una misma; puede observarse desde el cristalino hasta el gris casi negro. La variedad en el color, causa sospecha de contaminación, sobre todo cuando se estima que son diferentes a los naturales.

Por color se entiende la coloración que toma el agua debido a la presencia de material colorido en estado coloidal y en suspensión. El color puede ser causado por una amplia variedad de materiales tales como iones metálicos (como fierro y magnesio), compuestos orgánicos complejos (proveniente de hojas, madera y desechos vegetales en diferentes estados de descomposición), extractos vegetales como los taninos y ligninas, etc.

El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias,

el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. En estas condiciones se dice que el agua residual es séptica, de manera que han entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases.

Para su determinación en el laboratorio se emplea el método de Platino-Cobalto que consiste en una escala preparada para definir unidades conocidas, usando tubos de Nessler de 50 ml de forma alta.

La escala de color, se prepara a base de cloro, platinato de potasio y cloruro cobaltoso cristalizado, diluidos en agua destilada en proporciones establecidas, para que observada a través de una lámina de 200 mm, den la coloración estandar establecida.

Olor: El olor se debe a la presencia de materia orgánica en descomposición o a compuestos químicos como son los fenoles; si además el agua contiene cloro, la intensidad del olor aumenta.

El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerante que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos. Las aguas residuales industriales contienen a veces compuestos olorosos, o capaces de producir olores en el proceso de tratamiento.

La intensidad del olor es muy variable, y los procedimientos analíticos no son satisfactorios para su medición, teniendo que confiar en el sentido del olfato, variando éste de acuerdo con el individuo. Es importante considerar que rápidamente se atrofia este sentido.

En la Tabla I.6 se indican las grandes categorías de olores molestos y los correspondientes compuestos que los ocasionan. Todos

estos compuestos pueden encontrarse o pueden desarrollarse en las aguas residuales domésticas, dependiendo de las condiciones locales.

TABLA 1.6 CATEGORIA DE OLORES MOLESTOS

Compuesto	Calidad del olor
Aminas Amoniaco Diaminas	A pescado Amoniaco Carne Descompuesta
Sulfuro de hidrógeno Mercaptanos Sulfuros orgánicos Eskatol	Huevos podridos Mofeta Coles podridas Fecal

Se han sugerido que son cuatro los factores independientes que se necesitan para la completa caracterización de un olor: *intensidad*, *carácter*, *sensación de desagrado* y *detectabilidad*. Hasta ahora la detectabilidad es el único factor que se ha utilizado en el desarrollo de normativas reguladoras de las molestias causadas por los olores.

Turbiedad: La turbiedad es una medida de la obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua. Esta se debe a la presencia de una amplia variedad de materia finamente dividida, desde partículas macroscópicas como arcilla, materia orgánica, microorganismos, etc..

Las pruebas de turbiedad se pueden hacer tanto en campo como en el laboratorio.

La determinación en el campo se efectúa con la ayuda de un turbidímetro de Disco o de Secchi el cual está dividido en cuadrantes pintados de blanco y negro sujetos al extremo del tubo. Este disco se sumerge en el agua hasta que desaparezca la imagen; en el tubo que lo

sostiene, existe una graduación que da la turbiedad en función de la longitud del extremo sumergido.

La unidad patrón de la turbiedad es arbitraria, y esto se debe a la gran variedad de materiales que la acusan, siendo esta unidad la siguiente:

1mg SiO₂/l = 1 unidad de turbiedad

La sílice empleada debe ser químicamente pura y tener un tamaño de partícula coloidal.

Otros métodos empleados para la turbidez son:

- a) Método turbidimétrico de Baylis o st Louis
- b) Método de Botellas estándar.
- c) Método Nefclométrico (turbidímetro Hellige)
- d) Método turbidimétrico de bujía Jackson.

En el laboratorio el Turbidímetro de Jackson es el más empleado, consiste en un tubo de vidrio largo y graduado al que se le pone un poco de agua por analizar colocada en un soporte encima de una llama de una vela especial de esperma de ballena que no produce humo y que tiene una intensidad fija a 7.6 cm abajo del fondo del tubo de cristal. A continuación poco a poco se le va vertiendo más agua hasta que ya no se vea la concentración luminosa de la vela ; entonces se leerá en la graduación del tubo la turbiedad del agua muestreada.

Se usa para turbiedades de 25 a 5000 unidades y su graduación está dada a partir del fondo del tubo, pudiéndose leer directamente el valor de la turbiedad.

Para turbiedades menores de 5 unidades se emplean turbidímetros de Balys o st. Louis que trabaja con el principio de la luz dispersa.

Residuos: Los residuos de las aguas residuales ya se mencionaron anteriormente, debemos recordar que es la característica más

importante del agua residual, y que estos residuos los conforman la materia flotante, materia en suspensión, en dispersión, coloidal y en disolución.

Concentración de iones hidrógeno o pH: El pH es un término usado universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución. El pH interviene en el cálculo de carbonato, bicarbonato y bióxido de carbono, así como en el cálculo del índice de corrosión y el control de los procesos de tratamiento de agua.

La forma usual de expresar la concentración del ion hidrógeno es como pH, el cual se define de la siguiente manera:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log 1/[\text{H}^+]$$

La escala usual de valores de pH varía desde 0 hasta 14. Valores menos de 7, indican condiciones ácidas; iguales a 7, condiciones neutras; y mayores que 7 condiciones alcalinas.

El valor que corresponde al agua pura es $\text{pH} = 7$.

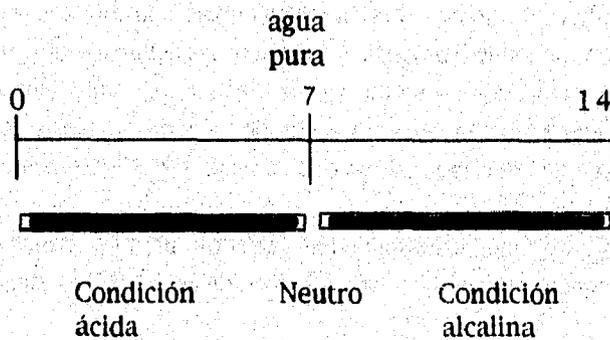


Figura 1.5 Escala del pH

La determinación de pH, es útil para regular el funcionamiento de instalaciones de tratamiento de aguas contaminadas; tiene poca relación con la fuerza o concentración de las aguas negras. En casos especiales, el pH de un desecho industrial puede dar indicios con respecto a su naturaleza; una alcalinidad o acidez anormal es producto de un tipo de desechos.

En la determinación del pH en el campo se usa el método colorimétrico en el que utilizan tiras de papel tornasol las cuales sumergidas en el agua toman color azul, rojo, amarillo, naranja, violeta, etc. dependiendo de si el pH es ácido o básico y su intensidad. Todos estos colores vienen tabulados correspondiendo según los tonos registrados a determinados valores del pH.

En el laboratorio se usan los medidores con electrodos de cristal, ya sea de corriente o de pilas; se les denomina potenciómetros.

Conductividad eléctrica: La conductividad es la expresión numérica de la capacidad o la habilidad de una solución acuosa de reducir una corriente eléctrica.

Mide la concentración de electrolitos debido a la conductancia tan alta que tienen los iones hidrógeno u oxhidrilo; se neutraliza el agua antes de hacer la medición. Aunque no es preciso, la conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sólidos disueltos. La temperatura influye en el resultado, por lo que se mide a 25°C o se corrige por éste concepto.

Mediante esta determinación, se nos permite conocer rápidamente las concentraciones de los minerales disueltos en las aguas residuales.

Para su determinación, se usa un puente de Wheatstone que mide el paso de la corriente entre dos electrodos separados un cm. y con un área de un cm², manteniendo el agua a 25°C.

PARAMETROS QUIMICOS

Un análisis químico proporciona datos útiles y específicos respecto al estado de descomposición y fuerza de las aguas negras o corrientes contaminadas, para fines de tratamiento, evacuación y prevención.

Al hacer un análisis químico de aguas negras, con fines sanitarios, solo se determinan aquellos compuestos químicos, radicales, elementos e indicadores, que puedan señalar características sanitarias significativas.

Para el estudio de las características químicas del agua residual se dividirá en:

- a) materia orgánica
- b) materia inorgánica
- c) gases que se concentran en el agua residual

Materia orgánica: En una agua residual de intensidad media, aproximadamente un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrantes son de naturaleza orgánica. Esta procede de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados fundamentalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Otros elementos importantes tales como azufre, fósforo y hierro pueden hallarse también presentes.

Los principales grupos de materias orgánicas hallados en el agua residual son las proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) y

grasas y aceites (10%). La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual; junto con otras moléculas orgánicas como son los agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura.

La presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente o bien lo hacen muy lentamente.

Este factor justifica el creciente interés por el uso de la precipitación química seguida de la adsorción por carbón activado en el tratamiento completo del agua residual.

Proteínas: Las proteínas son los principales componentes del organismo animal ya que en las plantas se encuentran presentes en menor grado. Todos los alimentos de origen vegetal y animal contienen proteínas. Las proteínas son de estructura química compleja e inestable, estando sometidas a diversas formas de descomposición. Algunas son solubles en el agua. Las proteínas están constituidas químicamente por aminoácidos los cuales forman grandes cadenas.

Todas las proteínas contienen carbono, que es común a todas las sustancias orgánicas, así como oxígeno e hidrógeno. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno en el agua residual.

Carbohidratos: Los carbohidratos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, estos incluyen a los azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera.

Desde el punto de volumen y resistencia de la descomposición, la celulosa está considerada como el carbohidrato más importante de las aguas residuales. La destrucción de la celulosa en el suelo progresa sin dificultad, principalmente como resultado de la actividad de distintos hongos, especialmente cuando prevalezcan condiciones ácidas.

Grasas animales, aceites y grasas: Son compuestos (ésteres) de glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Estos compuestos son muy semejantes, entre sí, estando compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Las grasas se hallan comúnmente en las carnes, germen de los cereales, semillas, nueces y ciertas frutas. Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. El contenido de grasa del agua residual puede producir muchos problemas, tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento. Si la grasa no se elimina antes del vertido del agua residual, puede interferir en la vida biológica en las aguas y crear películas y materias en flotación imperceptibles.

Agentes tensoactivos: Estos causan espumas en las plantas de tratamiento así como en las aguas a las que se vierten efluentes residuales. Estos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos (jabones y detergentes), se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando una espuma muy estable. Otro nombre con el que se conoce a los agentes tensoactivos, especialmente a los detergentes, es el de sustancias activas de azul metileno (SAAM).

Fenoles: Los fenoles y otros compuestos orgánicos de los que se encuentran vestigios, son también importantes constituyentes del agua residual. Los fenoles causan problemas de sabor en el agua especialmente cuando está clorada.

Se producen principalmente por procesos industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales. Los

fenoles pueden ser biológicamente oxidados en concentraciones de hasta 500 mg/l.

Pesticidas y productos químicos agrícolas: Los compuestos orgánicos que se encuentran a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura, son tóxicos para gran número de formas de vida y, pueden llegar a ser peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos químicos suelen incorporarse fundamentalmente como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado que disminuye así su valor como fuente de alimentación y el empeoramiento del suministro de agua.

Medidas del contenido orgánico: Los métodos más usados son:

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- COD (Carbono Orgánico Total)
- DTO (Demanda Total de Oxígeno)
- DTeO (Demanda Teórica de oxígeno)

La DBO a los 5 días (DBO₅), es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales. Este parámetro determina, la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua, utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de las aguas residuales como para la gestión técnica de la calidad del agua en virtud de que con la determinación de la DBO se mide el rendimiento de alguno de los procesos de tratamiento, además, a partir de ésta, se podrá calcular la velocidad a que se requerirá el oxígeno.

La DQO es el equivalente de oxígeno que la materia orgánica necesita para oxidarse, se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante (dicromato de potasio), en medio ácido. La determinación de DQO se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de una agua residual es, por lo general, mayor que la DBO porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. En muchos tipos de aguas residuales es posible relacionar la DQO con la DBO, y esto resulta muy útil porque la DQO puede determinarse con tres horas comparado con 5 días que supone la DBO. Una vez que la correlación ha sido establecida, pueden utilizarse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de una planta de tratamiento.

Una de sus principales limitaciones es su incapacidad para diferenciar la materia orgánica biológicamente oxidable de la inerte. Además, no proporciona una evidencia de la velocidad a la cual el material biológicamente activo se estabilizaría en las condiciones que existen en la naturaleza.

La DQO es un parámetro importante y rápido para determinar el grado de contaminación de corrientes y aguas residuales industriales, y para el control de plantas de tratamiento de aguas de desecho junto con la prueba de DBO, la DQO es útil para indicar la presencia de sustancias tóxicas y de sustancias orgánicas resistentes biológicamente.

Materia inorgánica: La concentración de sustancias inorgánicas es incrementada por la aportación de las formaciones geológicas con las que el agua entra en contacto y también por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que se descargan a ella. Las concentraciones de los constituyentes inorgánicos aumentan igualmente debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja la sustancia inorgánica en el agua. Se muestra a

continuación la naturaleza de algunos constituyentes inorgánicos o parámetros relacionados con estos.

Cloruros: Los cloruros son sustancias inorgánicas encontradas comúnmente en el orina del hombre y de los animales; no son afectados por los procesos biológicos ni por la sedimentación, pero sí por ciertos desechos industriales como los de las fábricas de hilados o los procesos de salado de carnes.

Los cloruros que se encuentran en el agua natural provienen de la disolución de suelos y rocas que los contienen y están en contacto con el agua, y en las regiones costeras, de la intrusión del agua salada. Otra fuente del cloro es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. Las heces humanas por ejemplo, contienen 6 gr de cloruro por persona y día. Los métodos convencionales de tratamiento no eliminan los cloruros en cantidades significativas.

Cuando se presentan en elevadas concentraciones son tóxicos a las plantas. Se confirma la contaminación del agua por la presencia conjunta con nitritos, nitratos y amoníaco.

En la prueba no interfieren los bromuros, yoduros y cianuros que se registran en concentraciones equivalentes al cloruro, sin embargo interfieren el sulfuro, tiosulfato y sulfito, aunque el sulfato y el tiosulfato se eliminan usando el peróxido de hidrógeno al 30 % en una solución alcalina; el sulfito se elimina usando la misma sustancia en una solución neutra. Para la prueba se usa una muestra de 100 ml.

Alcalinidad: La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como el calcio, magnesio, sodio, potasio y amoníaco. De estos los más frecuentes son los bicarbonatos de calcio y magnesio. La acidez y alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para reaccionar con los iones hidroxilos y los iones hidrógeno respectivamente. Debido a la relación que tiene con el pH y que no es congruente con esta última escala, algunos

químicos prefieren hablar de concentraciones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en lugar de alcalinidad.

El agua residual es comunmente alcalina, recibiendo su alcalinidad de las sustancias o materias durante su uso doméstico.

Nitrógeno: El nitrógeno presente en el agua residual reciente se encuentra principalmente en la forma de urea y materia protéica. La descomposición de éstos compuestos por las bacterias cambia fácilmente estas formas en amoniaco. La edad del agua residual viene indicada por la cantidad relativa de amoniaco presente. En un ambiente aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno del amoniaco a nitritos y nitratos. La presencia de nitrógeno en forma de nitratos indica que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. La descomposición de proteínas animales y vegetales por las bacterias producen de nuevo amoniaco, por lo tanto, si el nitrógeno en forma de nitratos puede reutilizarse por las algas y otras plantas para formar proteínas, puede ser necesario eliminar o reducir el nitrógeno que haya presente para evitar estos crecimientos.

Las formas de presentación del nitrógeno son básicamente las siguientes: Nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal (NH_3), nitrógeno de nitritos (NO_2^-) y nitrógeno de nitratos (NO_3^-).

La presencia de amoniaco en el agua es frecuentemente interpretado como una contaminación reciente con productos nitrogenados; en aguas subterráneas puede provenir de la disolución de estratos que contengan sales amoniacales. Se considera de reciente contaminación su presencia porque rapidamente se oxida a través de ciertos organismos pasando a nitrato, pero con algún cambio del pH del agua.

Contenidos elevados de nitrógeno orgánico o protéico se realciona con una contaminación de aguas negras o desechos industriales. El nitrógeno orgánico y el amoniacal integran el nitrógeno total.

Existe el nitrógeno albuminoideo que es una medida aproximada del nitrógeno de origen protéico derivado de la vida animal y vegetal de los medios acuáticos; en agua contaminadas es índice de la materia orgánica desdoblada en aminoácidos, polipéptidos y proteínas.

Los nitratos provienen generalmente de la materia orgánica nitrogenada de origen animal; la materia vegetal libera muy pocos nitritos. Representa la fase final de la oxidación del ciclo del nitrógeno.

Los nitritos se relacionan con la contaminación con agua negras o desechos industriales, sujeta a oxidación puesto que el proceso no ha terminado en nitratos.

Fósforo: El fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas y otros organismos biológicos. Las formas más frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son: ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico.

Los ortofosfatos, se hallan disponibles para el metabolismo biológico sin precisar posterior ruptura. Los polifosfatos incluyen las moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno, y en algunos casos átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja. Los polifosfatos sufren la hidrólisis en soluciones acuosas y vuelven a su forma de ortofosfato, sin embargo, esta hidrólisis es generalmente de menor importancia en la mayoría de las aguas residuales domésticas; aunque en ocasiones los polifosfatos pueden ser un importante constituyente de las aguas residuales domésticas.

El ortofosfato puede determinarse añadiendo directamente una sustancia tal como molibdato amónico, que forma un complejo coloreado con el fosfato.

Azufre: El ion sulfato se presenta naturalmente en la mayoría de los abastecimientos de agua y también en el agua residual. El azufre es requerido en la síntesis de las proteínas y es liberado en su degradación. Los sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$) son reducidos químicamente a sulfuros (S^{-2}) y a sulfitos

de hidrógeno (H_2S) por bacterias en condiciones anaerobias. El H_2S puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico (H_2SO_4) el cual es corrosivo. Los sulfatos son reducidos a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el proceso biológico si la concentración del sulfuro sobre pasa los 200 mg/l.

Compuestos tóxicos: Por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales. El cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro son tóxicos en distintos grados para los microorganismos, y, por tanto, debe tenerse en consideración al proyectarse una planta de tratamiento biológico. Muchas plantas se han visto perturbadas por la introducción de estos iones hasta el extremo de provocar la muerte de los microorganismos y detener el tratamiento.

Metales pesados: Trazas de muchos metales tales como el níquel, Magnesio, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia podría, limitar el crecimiento. La presencia de cualquiera de los metales citados en cantidades excesivas interferirá con el tratamiento biológico del agua residual dada su toxicidad; conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

Las cantidades de muchos de estos metales pueden determinarse a concentraciones muy bajas por métodos instrumentales como polarografía y espectroscopía de absorción atómica.

Detergentes aniónicos: Los detergentes sintéticos (A.B.S.) que son una cadena Alquil-Benceno-Sulfato de sodio, conducen a ciertas perturbaciones sobre las aguas de los ríos que se traducen en producción de espumas; son productos de difícil desdoblamiento biológico. Existe otra cadena lineal (L.A.S.) Sulfato Lineal de Alquilo que es fácilmente desdoblable, pero que todavía no se difunde en forma comercial por problemas de producción.

Son característicos en aguas residuales de uso doméstico por lo que su presencia indica contaminación con éstas. El problema directo es la producción de espuma; los indirectos provienen de su particularidad para abatir la tensión superficial del agua.

Para su determinación existen varios métodos entre los que se emplea más frecuentemente el del azul de metileno y los agentes aniónicos; la sal formada es soluble en cloroformo produciendo una coloración proporcional al contenido.

Para concluir con los factores químicos de las aguas residuales faltaría describir la tercera parte correspondiente a los gases que se encuentran en las aguas residuales, los cuales ya fueron descritos anteriormente en el punto 1.4 correspondiente a gases disueltos.

PARAMETROS BIOLÓGICOS

Las corrientes contaminadas principalmente con aguas negras, contienen incontables organismos que son la parte viva de la materia orgánica que se encuentra en las aguas y su determinación es de suma importancia porque prácticamente pueden dar la historia de la contaminación del agua.

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales que se clasifican en protistas, plantas y animales. La categoría de las protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas, se clasifican las de semillas, helechos musgos y hepáticas. Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus, que también se encuentran en el agua residual, se clasifican según el sujeto infectado.

Conocer los microorganismos es muy importante para el analista, porque con ellos puede clasificar mejor el tipo de agua que se está estudiando; además, indica el grado de contaminación con aguas residuales que pueda tener el agua en el momento de tomar la muestra.

Protistas: Este grupo es el más importante, con el que el operador debe familiarizarse, particularmente las bacterias, algas protozoos. Debido al amplio y fundamental papel jugado por las bacterias en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento, deben conocerse bien sus características, funciones, metabolismo y síntesis.

Bacterias: Las bacterias constituyen la clase Schizomycetes, consideradas como las más primitivas de los vegetales; son típicamente unicelulares y llegan a medir entre una y ocho micras.

La forma de las bacterias puede ser la esférica, o la alargada; la de forma esférica recibe el nombre de "coccus", las lagas en forma de barra recta, "bacillus", y la alargada en forma de barra curva "spirillum".

Las bacterias que producen enfermedades al hombre se denominan patógenas y en general son parásitos que viven a la temperatura del cuerpo humano.

Las principales enfermedades causadas por bacterias y transmitidas por el agua son: la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera y ciertos tipos de trastornos gastrointestinales.

Lo que se investiga en realidad es la presencia de ciertos microorganismos no patógenos que son característicos en los excrementos de los animales de sangre caliente, incluso el hombre y que por consiguiente sirve de indicadores de la contaminación por aguas negras. Entre los organismos seleccionados para este objeto, está el grupo de bacterias coliformes, que tienen su desarrollo natural en el conducto intestinal de los humanos; también el estreptococcus fecalis es indicador de la contaminación fecal del agua y de la posible presencia de los parásitos intestinales o de los patógenos.

Los organismos benéficos de las aguas negras, son aquellos que intervienen en los procesos biológicos de tratamiento de las mismas.

Número más probable (NMP): La estimación del conjunto de bacterias del grupo coliforme presentes en un determinado volumen de agua, será índice de la intensidad de contaminación.

Cualquier prueba de fermentación positiva en caldo lactosado, es decir, que muestre formación de gas después de 24 o 48 hrs. indica la presencia de bacterias del grupo coliforme en una cantidad proporcional al volumen de la muestra que se haya examinado. Usando diferentes volúmenes de muestras, es posible hacer una estimación cuantitativa del número de bacterias coliformes presentes. Si se conoce el número de tubos positivos y negativos correspondientes a cada dilución, se puede calcular el número probable de organismos de ese grupo que haya en un determinado volumen de agua. Esto proporciona un índice de contaminación, el cual usualmente se expresa como "número más probable" (NMP) de bacterias del grupo observado.

El NMP se basa en leyes de probabilidad empleando los resultados positivos y negativos de los tubos incubados y de acuerdo a la porción de muestras. Con cinco porciones de muestra de cada uno de los volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml respectivamente, pueden obtenerse resultados cuantitativos que varían de 2 a 542 bacterias coliformes por ml.

Para la determinación de las bacterias se usan las técnicas de filtro de membrana, éste método presenta las siguientes ventajas:

- Mayor grado de precisión
- Examen de mayores volúmenes de muestras.
- Filtración de las muestras en el campo.
- Embarque de los filtro al laboratorio en su propio medio
- Resultados en menor tiempo que el requerido por otros métodos.

El método consiste en la filtración de la muestra a través de una membrana que retienen a las bacterias; se coloca en un receptáculo provisto de un embudo, fijo a un matraz de filtración al vacío. Después de filtrada la muestra, se retira la membrana y se mantiene en incubación en un medio de cultivo durante 20 ± 2 horas y a 35 ± 0.5 °C.

Para el conteo de las colonias se usa un microscopio binocular de disección, de campo amplio con aumento de 10 a 15 diámetros.

Algas: Son vegetales acuáticos unicelulares (algas) que flotan o nadan en forma libre y que generalmente sólo pueden ser vistos al microscopio.

Las algas constituyen el alimento principal de los organismos acuáticos; son productoras de oxígeno en el agua y facilitan la reoxigenación de la misma cuando se tiene bastante materia orgánica en vía de decomposición; por otro lado, en gran cantidad, obstruyen las fases de potabilización del agua, principalmente a la de filtrado, retardando así la duración de los ciclos de filtración.

Sin embargo por su acción fotosintética, juega un papel muy importante en los procesos de purificación de aguas contaminadas.

Para su determinación existe un método llamado de Sedgwick-Rafter para placton. Si el agua contiene menos de 25 microorganismos por ml., se concreta la muestra mediante centrifugación o usando el embudo Sedgwick-Rafter; después se toma un ml de la muestra ya filtrada y se coloca en la celda de enumeración. Posteriormente se usa el microscopio para realizar el conteo de organismos, auxiliándose del micrómetro de Whipple.

El microscopio debe llevar en su lente ocular un micrómetro (de Whipple) que es un disco de cristal que lleva grabada una retícula de líneas trazadas en ángulo recto y subdividido una parte en franjas menores, cuyo fin es medir los objetos microscópicos o delimitar con exactitud los campos del microscopio.

Se sigue para el conteo, un barrido dentro del campo de observación de derecha a izquierda y de arriba a abajo. Se eligen normalmente diez campos al azar dentro de la celda. Se cuentan los organismos que caen dentro del campo del micrómetro y aquellos que lo estén en más de la mitad de su cuerpo. En caso de microorganismos en movimiento, debe hacerse la observación lo más rápidamente posible y contar los que estén bajo la condición anterior, no descontando o añadiendo aquellos que ya han quedado atrás del área de conteo.

Los diez campos observados presentan una pequeña parte del área que tiene la celda; sin embargo, se supone que es el promedio para extrapolarlos a la totalidad. Finalmente debe tomarse en consideración la concentración que se hizo de la muestra. Los resultados se dan en organismos por ml. Cabe hacer la aclaración de que existen otros métodos y hasta otras unidades para determinar el contenido de microorganismos en la muestra, pero el que se ha descrito es el más empleado, sencillo y de mejor interpretación ingenieril.

Protozoos: Los protozoos de importancia para el operador son las amibas, los flagelados, y los ciliados libres y fijos. Estas protistas se alimentan de las bacterias y de otras protistas microscópicas y son básicas en el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento así como en la purificación de los ríos porque mantienen un equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos.

Virus: Los virus excretados por los humanos pueden llegar a ser un peligro para la salud pública. por ejemplo, se sabe a través de estudios experimentales, que de 10,000 a 100 000 dosis infecciosas de virus de la hepatitis son emitidas por cada gramo de heces de un paciente de dicha enfermedad. Se sabe que algunos virus viven hasta 41 días en el agua o agua residual a 20°C y durante 6 días en un río normal.

Plantas y animales: Las plantas y animales de importancia varían en tamaño desde rotíferos microscópicos y gusanos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos es útil al valorar el estado de los ríos y lagos al determinar la potencialidad de contaminación de las aguas residuales evacuadas al ambiente, y al observar la efectividad de la vida biológica en los procesos secundarios de tratamiento utilizados para estabilizar los residuos orgánicos.

CAPITULO 2

Disposición y reúso de las aguas residuales

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno explicará la importancia del tratamiento del agua residual para la prevención y control de la contaminación de los cuerpos receptores, así como la del reúso del agua tratada para el mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

CAPITULO 2

DISPOSICION Y REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES

2.1 Tratamiento y disposición de las agua residuales.

Aunque la captación y drenaje de agua pluviales datan de los tiempos antiguos, la captación de las aguas residuales tiene su primer precedente en el siglo XIX. El tratamiento sistemático de las aguas residuales surgió a finales del siglo pasado y principios del presente. El desarrollo de la teoría del germen en la segunda mitad del siglo XIX por Roch y Pasteur marcó el inicio de una nueva era en el saneamiento. Antes de esta época, la relación entre contaminación y enfermedades había sido estudiada tan solo ligeramente, y la bacteriología, en aquel entonces en sus inicios, no había sido aplicado el tratamiento de las aguas residuales.

En un principio no se le daba la debida importancia al tratamiento y eliminación de agua residuales, ya que los daños causados por los vertidos no eran de gran relevancia. A principios de este siglo, sin embargo, los daños y las condiciones sanitarias trajeron consigo una creciente demanda de que el tratamiento de agua residuales tuviera más eficacia. La imposibilidad de disponer de zonas especialmente en grandes ciudades, condujo a la adopción de métodos de tratamiento más intensos.

Las aguas residuales se tratan para proteger la salud pública, ya que constituyen un peligro por contener bacterias patógenas y otros organismos productores de enfermedades. Contienen también sustancias que pueden contaminar las fuentes de alimentos de agua.

El reglamento para la prevención y Control de la Contaminación de Aguas, define el tratamiento o purificación de las aguas residuales de la siguiente manera:

"Es el proceso o serie de procesos a los que se someten las aguas residuales, con el objeto de disminuir o eliminar las características perjudiciales de los contaminantes que éstas contienen."

Inicialmente, el propósito de tratamiento fué el de acelerar las fuerzas de la naturaleza bajo condiciones controladas en instalaciones de tratamiento, para lograr los siguientes objetivos:

- Remoción de material flotante y suspendido.
- Remoción de materia orgánica biodegradable.
- Eliminación de organismos patógenos.

Actualmente, no obstante que aquellos objetivos son válidos todavía, el grado requerido de tratamiento se ha incrementado significativamente, por lo que nuevos procedimientos y metas han sido establecidos. La remoción de nitrógeno, fósforo y compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, son ejemplo de los recientes objetivos de tratamiento que han sido establecidos para determinadas situaciones.

Hoy en día es tanta la disponibilidad de recursos tecnológicos, que es posible obtener agua prácticamente pura, sin embargo una serie de factores tales como: uso del efluente de tratamiento, costos, disponibilidad de recursos humanos y materiales, condiciones socio-económicas y políticas, existencia de un marco legislativo manifestado a través de leyes y reglamentos, etc., define el grado óptimo de tratamiento que es deseable aplicar con el fin de lograr un adecuado equilibrio entre todos o la mayoría de los efectos mencionados.

La contaminación indirecta del agua es producto de la disposición inadecuada de residuos sólidos sobre cauces o terrenos.

lixiviación de agroquímicos, erosión, drenados ácidos de minas y lavados de los contaminantes del aire.

Las áreas con mayor alteración en la calidad de las aguas subterráneas son la Comarca Lagunera, por dilución de sales arsénicas; la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la región del Bajío por infiltración de lixiviados de desechos sólidos, descarga de aguas residuales no incorporadas al drenaje municipal y fugas en los sistemas de colección de agua residuales municipales.

La compleja pregunta acerca de que contaminantes de las aguas residuales deben ser eliminados para proteger el entorno y en que cantidad, precisa de una contestación específica en cada caso concreto. Ello requiere del análisis de las condiciones y necesidades locales, junto a la aplicación de normas legisladoras de la calidad del agua existentes.

La Tabla 2.1 nos proporciona los parámetros de la calidad del agua.

Tabla 2.1
Parámetros de calidad del agua

Selección de parámetros	Parámetros rutinarios		Parámetros especiales
	Parámetros de campo	Parámetros de laboratorio	
Tipo de cuerpo de agua (río, lago, pozo, litoral, etc.)	1 pH	1 pH	1 Boro
	2 Conductividad eléctrica	2 Turbiedad	2 Flúor
	3 Oxígeno disuelto	3 Color	3 Cianuro
Contaminación específica del cuerpo de agua.	4 Temperatura del agua	4 Alcalinidad	4 Arsénico
	5 Temperatura ambiental	5 Dureza	5 Cromo (+6)
	6 Materia flotante	6 Cloruros	6 Plomo
		7 Sulfatos	7 Cadmio
Uso del cuerpo de agua (abastecimiento público, agrícola, industrial, recreativo, acuicultura, etc.)		8 Nitrógeno amoniacal	8 Mercurio
		9 Nitrógeno orgánico	9 Selenio
		10 Nitrito	10 Berilio
		11 Fosfatos totales	11 Litio
		12 Cromatos	12 Manganeso
		13 Demanda química de oxígeno (DQO)	13 Niquel
		14 Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DB5)	14 Cobalto
		15 Detergentes (S.D.S.)	15 Hierro
		16 Grasas y aceites	16 Fósforo
		17 Sólidos totales	17 Aluminio
		18 Sólidos suspendidos totales	18 Bario
		19 Sólidos disueltos totales	19 Cinc
		20 Sólidos sedimentables	20 Plata
		21 Acidez	21 Molibdeno
		22 Coliformes totales	22 Vanadio
		23 Coliformes fecales	23 Carbonatos
		24 Bicarbonatos	

Fuente: Comisión Nacional del Agua, SARH, 1994.

Las aguas negras constituyen una carga para la comunidad que las produce. Es cierto que contiene ingredientes recuperables, pero, como en el caso de la extracción de oro del agua de mar, el proceso de recuperación cuesta más que el valor de las sustancias recuperadas. No ha sido ideado ningún proceso de tratamiento de las aguas negras domésticas para producir un caudal higiénico que resulte beneficioso. Sin embargo como es indispensable tratar las aguas negras, puede sufragarse una parte del costo de tratamiento, mediante la recuperación de productos útiles.

Los métodos de tratamiento en que domina la aplicación de fuerzas físicas son conocidas como operaciones unitarias. Aquellos en que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante reacciones químicas o biológicas, se conoce como procesos unitarios.

En la actualidad las operaciones y procesos unitarios se agrupan para construir lo que se conoce como tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario, los cuales se describen en el siguiente capítulo.

El número de compuestos orgánicos que se han sintetizado desde el comienzo de éste siglo, supera el medio millón, y cerca de diez mil se van añadiendo cada año a los ya existentes. La mayoría pueden tratarse fácilmente, y va en aumento el número que no puede eliminarse.

Bajo ciertas condiciones, el tipo de intensidad de tratamiento de aguas negras que se adopte en una comunidad, puede ser regulado por consideraciones económicas. Por ejemplo en una comunidad industrial es

posible evitar la polución de las corrientes por los residuos industriales, prohibiendo la descarga de tales residuos en la corriente.

En la práctica las pequeñas plantas de tratamiento deberían integrarse a un sistema general y proyectarse para tratar principalmente residuos domésticos. El efluente se aprovecharía para la reutilización local o se evacuaría a cursos de agua. Los sólidos biológicos producidos durante el tratamiento podrían procesarse para la recuperación de nutrientes o ser devueltos a la red de alcantarillado para ser procesado en una planta centralizada.

Por otro lado, todo residuo líquido se tiene que verter o disponer a los cuerpos receptores es por eso que daremos los diferentes tipos de disposición de las aguas residuales.

Disposición: Es la evacuación o destino final que se le da a las aguas residuales, es decir a donde se van a verter las aguas después de haber sido contaminadas o tratadas.

Los métodos de evacuación de las aguas negras comprenden, su descarga en una masa de agua o en una corriente, y sobre o bajo la superficie del terreno. Las aguas negras pueden evacuarse, con o sin tratamiento, según la capacidad del agua o terreno que las reciba.

La evacuación en agua que es la más común, se llama por dilución. La evacuación sobre el terreno se llama por riego o manta. La evacuación subterránea o subsuperficial, se aplica principalmente a pequeñas cantidades de aguas negras, y no se practica comúnmente.

Disposición por dilución: Este método consiste en la descarga de las aguas residuales en aguas superficiales como las de un río, un lago o el mar. Esto da lugar a la contaminación del agua receptora.

En los casos en que el oxígeno disuelto del agua receptora no sea suficiente para mantener la descomposición aerobia, tendrá lugar la

descomposición anaerobia y la putrefacción, resultando condiciones indeseables. No es precisamente el volumen de aguas negras lo que puede considerarse como valor crítico, sino más bien la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición que contengan las aguas negras. Por esto es que un determinado volumen de aguas negras que han sido tratadas para disminuir o eliminar su materia orgánica, pueden descargarse en una superficie de agua natural sin crear condiciones indeseables, mientras que el mismo volumen de aguas negras crudas o sin tratar podrían producir molestias. El factor determinante es el oxígeno disuelto que contenga el agua receptora.

El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie libre del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de 0°C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. Esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15°C la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10.0 ppm.

El flujo turbulento de una corriente, sobre las piedras, riscos y rápidos, aumenta la velocidad de disolución del oxígeno, o sea la reaeración; por medio de ésta última se consigue oxígeno disponible adicional para la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos putrecibles.

La oxidación de la materia orgánica, empieza inmediatamente después de su descarga en el agua de dilución, debido al desarrollo y la actividad de los organismos oxidantes y, en grado menor a las reacciones químicas. En cuanto exista suficiente oxígeno en el agua, no habrá condiciones sépticas y no se persivirán olores desagradables. Cuando la materia orgánica este completamente nitrificada u oxidante no habrá ya más demanda de oxígeno y se dirá que la corriente se ha purificado por sí misma.

La cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Como ésta descomposición requiere un período grande de tiempo y depende de la temperatura, los valores de la DBO de las pruebas de laboratorio deben especificar el tiempo y la temperatura usados en la prueba. Los que se emplean generalmente son 5 días y 20°C, a no ser que se especifique otro tiempo y temperatura, debe suponerse que fueron éstos los que se emplearon.

La luz es eficaz para la autopurificación, por su efecto esterilizante sobre ciertas bacterias, por su capacidad de decoloración, y por la fotosíntesis, mediante la cual los organismos que contienen clorofila toman energía del sol y la convierten en alimentos para otros seres vivos, absorbiendo anhídrido carbónico durante el proceso y desprendiendo oxígeno.

La rapidez de la autopurificación depende de la clase de materia orgánica, de la presencia de oxígeno utilizable, de la velocidad de la reaeración, de la temperatura, de la sedimentación y de la velocidad de la corriente. La absorción de oxígeno es más rápida en una corriente cuya superficie está agitada, que en una corriente cuya superficie este lisa. Sin embargo, el desarrollo de algas, otras actividades biológicas, y el efecto de la luz solar y de la sedimentación, pueden ser factores más potentes que la agitación de la superficie en la autopurificación.

Disposición por riego o manta: Consiste en derramar las aguas residuales sobre la superficie del terreno. Las aguas negras pueden distribuirse sobre el área por regar por: 1) inundación, 2) riego superficial, 3) riego por surcos, 4) riego por aspersión y 5) filtración. En cada uno de estos métodos las aguas negras se distribuyen de un modo intermitente con periodos relativamente largos entre cada dos aplicaciones sucesivas.

Antes de derramar las aguas negras sobre el terreno deben pasarse por una rejilla o tamiz y eliminar las partículas gruesas

sedimentables. El volumen aplicado puede ir aumentando, a medida que se incrementa la intensidad del tratamiento preliminar.

En el vertido sobre el terreno, se excluye una pequeña parte que se evapora el resto se resume en el suelo y suministra humedad, así como pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes para la vida vegetal. Este método sólo es aplicable a pequeños volúmenes de aguas negras provenientes de poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone de la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en la que tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Si se cultivan las zonas de disposición, deben excluirse de los drenajes de desechos industriales que pueden ser tóxicos o impedir el desarrollo de la vegetación. Siempre existe la posibilidad de que las aguas negras contengan organismos patógenos, por eso no es conveniente la producción de alimentos para consumo humano que hayan de ser ingeridos sin cocimiento.

Las aguas negras tienen un valor fertilizante mayor que el de agua natural. Contiene aproximadamente 20 mg/l de nitrógeno, el cual es aprovechable por las plantas un 50%. El suelo más adecuado para la inundación, es un suelo poroso arenoso, con suficiente pendiente y un buen drenaje subterráneo. Los suelos arcillosos impermeables o compactados, son inadecuados y no deben usarse. Se endurecen en la superficie, y forman charcos de aguas negras en putrefacción, o en tiempo caluroso forman grietas, que pueden permitir que aguas negras no tratadas pasen a los drenajes subterráneos.

Disposición subsuperficial: Este método consiste en hacer llegar las aguas negras a la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones o enlozados. Usualmente así sólo se eliminan las aguas negras sedimentadas provenientes de instituciones o residencias en las que su volumen es muy limitado. La evacuación subterránea de aguas negras, constituye una amenaza para la salud, pues es ahí donde está la calidad del agua subterránea. Es por eso que este método es muy poco usado para la evacuación final de las aguas residuales.

La disposición de aguas residuales en nuestro país ha tomado gran importancia y fue en 1991 cuando se creó el Programa Agua Limpia (PAL), esto como reforzamiento de los programas de control de la calidad del agua, y cuyo objetivo es garantizar que el recurso hidráulico cumpla con las normas de calidad para los usos a que se destina.

Para enmarcar el PAL en las funciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA), se han establecido acciones de corto y largo plazos. En los de largo plazo, se ubica el saneamiento integral de todas las cuencas del país y el objetivo es alcanzar 100% de tratamiento de las descargas de aguas residuales de origen municipal e industrial que se vierten en los cuerpos receptores nacionales.

A nivel nacional, se extraen anualmente 185 km³ de aguas superficiales y subterráneas para los diversos usos, lo cual representa el 43% del volumen total anual de agua renovable. De este volumen, 61% se utiliza en la generación de energía hidroeléctrica, 30% en riego, 5% en la industria y el restante 4% para uso urbano, que incluye el suministro de agua potable. La Tabla 2.2 nos proporciona la extracción, consumo y descarga de agua anual a nivel nacional.

Tabla 2.2
Extracción, consumo y descarga anual a nivel nacional

Usos	Volumen (km ³)		
	Extracción	Consumo	Descarga
Agrícola	55.5	46.6	8.9
Industrial	9.3	3.7	5.6
Urbano	7.4	3.5	3.9
Hidroeléctrico	128.8	---	---
Total	185.0	53.0	19.2

Fuente: Comisión Nacional del Agua, SARH, 1993.

Las concentraciones para uso agrícola se utilizan en las entidades del norte y noroeste del país y en el bajo. Las destinadas a la industria se localizan, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en la cuenca del río Lerma y en el noroeste del país; y las de generación hidroeléctrica en el sureste. De las extracciones para uso urbano 49% corresponden a las tres principales zonas metropolitanas del país, a algunas ciudades medias y a ciudades de la frontera norte.

El consumo, esto es, la cantidad de agua que no retorna a las corrientes una vez utilizada, es de 53 km³ anuales, 88% de este volumen corresponde al sector agrícola, 7% al sector industrial y 5% a las poblaciones. La generación de energía hidroeléctrica prácticamente no consume agua, pero aprovecha su energía potencial y modifica el régimen de los ríos.

El agua residual que retorna a las corrientes con mayor o menor grado de carga contaminante suma menos de 20 km³ al año. El sector agrícola genera el 46% de este volumen y sus contaminantes son residuos agroquímicos y restos de suelo debido a la erosión. La industria genera el 28% con una amplia gama de compuestos, muchos de ellos contaminantes. El restante 26% se vierte a través de las descargas municipales con contenido de materia orgánica y bacteriológica, así como algunos tóxicos que provienen de las descargas industriales conectadas a las redes municipales de alcantarillado. Parte de esta contaminación es controlada en plantas depuradoras.

2.2 Necesidad de tratar las aguas residuales

Haciendo una breve historia, el problema de la contaminación del agua, data de tiempos muy antiguos, de hecho desde la existencia del hombre; conforme fueron creciendo las comunidades el problema de la contaminación del agua era más grave, pero no se le tomaba la debida

importancia, porque todas las aguas residuales eran vertidas en fuentes de agua superficiales principalmente, sin previo tratamiento.

Con lo anterior, era de esperarse que éste problema se agravara ; y no fue sino hasta 1973 con el surgimiento del Reglamento para la prevención y la control de la contaminación del agua, que se empieza a exigir, y a normatizar las descargas de aguas residuales a fuentes superficiales; con lo que los responsables de las descargas deben acatar y respetar dicho reglamento.; esto es tiene que darle un tratamiento a sus aguas de desecho, antes de disponerlas en cualquier medio. En la actualidad el reglamento que impera es el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

A medida que fue creciendo la población humana, con el proporcional aumento de volumen de aguas negras y desechos orgánicos resultó que todos los métodos de disposición eran poco satisfactorios y se hizo imperante tomar medidas esenciales para remediarlos iniciandose el desarrollo de los métodos de tratamiento antes de la disposición final de las aguas negras.

Con esto se inician una serie de decretos y leyes que rigen la calidad, descargas, usos y reusos del agua hasta nuestros días.

Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento de las aguas negras incluyen:

- 1) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico
- 2) La prevención de enfermedades.
- 3) La prevención de molestias.
- 4) El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- 5) Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.

- 6) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- 7) La prevención del azolve de los canales navegables.

Una planta de aguas negras se diseña para retirar las cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permitan su disposición.

Los diversos procesos que se usan para el tratamiento de aguas negras siguen estrechamente los lineamientos de los de autopurificación de una corriente contaminada.

El grado hasta el cual sea necesario llevar un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro. Existen tres factores básicos determinantes:

- 1) Las características y cantidad de sólidos acarreados por las aguas negras.
- 2) Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
- 3) La capacidad o aptitud que tenga el terreno (para disposición superficial) o el agua receptora (en la disposición por dilución), para verificar la autopurificación o dilución necesaria de los sólidos de las aguas negras, sin violar los objetivos propuestos.

La eliminación de los sólidos flotantes por medio de las coladeras, es aconsejable en el caso en que las aguas negras se descarguen en las aguas costeras del mar. Sin embargo puede ser necesario eliminar una alta proporción de sólidos suspendidos, llevar a cabo la descomposición de los sólidos orgánicos disueltos y destruir los organismos patógenos, antes de que descarguen a un río que ha de utilizarse aguas abajo como fuente de abastecimiento público.

Un tratamiento adecuado, previo a la disposición, para alcanzar ciertos objetivos, es imprescindible, pero un tratamiento exagerado es una extravagancia injustificable.

2.3 Aprovechamiento de las aguas tratadas

La problemática del abastecimiento del agua para las diversas actividades del hombre, se ve influenciada por la calidad y disposición del recurso hidráulico. En México dada la mala distribución del agua respecto a los centros urbanos-industriales esta problemática se agrava.

Por otro lado, el manejo y disposición de las aguas residuales y la contaminación de los cuerpos receptores afecta la calidad del agua disponible y, por lo mismo, el desarrollo de las actividades humanas involucradas con su uso.

Una de las alternativas para atacar, en forma integral, los problemas antes mencionados, es el aprovechamiento de aguas residuales. Esta alternativa puede realizarse a distintos niveles dependiendo del grado de calidad y volumen del agua requerido por diferentes usos, y del control que se pueda ejercer en las fuentes de generación y sitios de aprovechamiento de las aguas residuales.

A groso modo, la calidad del agua requerida para usos agrícolas es menor que la de usos industriales y ésta, a su vez, es menor que la requerida para usos recreativos, de recarga de acuíferos y domésticos.

En México para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, hacia finales de 1988 se contaba con un total de 223 plantas de tratamiento de diversas tecnologías, las cuales permitían tratar un caudal medio de $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (12% del caudal total generado de aguas residuales en esta fecha).

En 1991 se contaba con 361 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad instalada de 25.10 m³/s, y en lo que se refiere a plantas de tratamiento de agua residual industrial, existían 282 con una capacidad aproximada de 20 m³/s.

De lo anterior se deriva que la descarga total de aguas residuales municipales que es de 105 m³/s sólo se tiene capacidad para tratar un 24%, además que aproximadamente la mitad del volumen tratado es para el aprovechamiento y no para el control de la contaminación. Por lo que respecta a las aguas residuales industriales cuyo gasto es de 79 m³/s, sólo se tratan 25.3%.

Para finales de 1993 la capacidad de tratamiento se incrementó a cerca de 35 m³/s. Para 1994 se estima un total de 825 plantas de tratamiento, con una capacidad instalada de más de 38 m³/s del total de agua residual generada por las poblaciones. La Tabla 2.3 nos proporciona cifras sobre las plantas de tratamiento de agua residuales municipales existentes en nuestro país.

Tabla 2.3
Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Año	No. de plantas	Volumen tratado (m ³ /s)	Remoción esperada (toneladas de DBO/día)
1988	223	14.0	302
1989	256	15.2	343
1990	310	19.3	418
1991	361	25.1	541
1992	577	29.1	627
1993	650	34.8	750
1994*	825	38.4	830

*Estimado a septiembre de 1994.

Fuente Comisión Nacional del Agua, SARH, 1994.

Durante los últimos meses de 1992 y contabilizando hasta el primer trimestre de 1994, se llevaron a cabo las convocatorias para obra de 15 plantas de tratamiento de aguas residuales, bajo la modalidad de responsabilidad total única con inversión recuperable, también conocida como Financiamiento, Construcción y Operación (FCO), las que tienen una capacidad total de 20.7 m³/S.

En proceso de construcción se encuentran 68 nuevas plantas para un caudal de 30 m³/s y 45 plantas de tratamiento tienen ya su proyecto de ingeniería terminado o en ejecución para tratar un caudal conjunto de más de 53 m³/s.

Elevando la eficiencia de las plantas actuales que no operan o que operan con deficiencia y las nuevas plantas, se tendrá a corto plazo una capacidad de tratamiento superior a 76% del caudal total de aguas residuales generadas por las poblaciones, estimado en 160 m³/s.

Subsiste, sin embargo, el problema de operación y mantenimiento de las instalaciones ocasionado por la falta de personal capacitado que se haga cargo de la operación.

La Tabla 2.4 nos proporciona los aspectos relativos a la infraestructura y reúso del agua residual en el DF.

En las plantas municipales existentes predominan los procesos a base de lagunas de estabilización y de lodos activados, y en los sistemas industriales de tratamiento, la mayoría se efectúa por medio de procesos de lodos activados con coagulación química.

Las empresas paraestatales controlan sus descargas y aprovechan las mismas para algunos beneficios; como se menciona en seguida:

La Comisión Federal de Electricidad (CFE): Opera actualmente una trampa de aceites, sistema de tratamiento requerido para cumplir con las Condiciones Particulares de Descarga (CPD) de la

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). También rehabilitó una línea de suministro de combustóleo con el fin de controlar fugas. Ha puesto en marcha un programa de recirculación de agua mediante la construcción de plantas de tratamiento y fosas de recirculación y evaporación, en una primera etapa, cuyo avance se estima en 95 % y una segunda etapa que se desarrolló durante 1991, con lo que sólo se generaron 18 l/s que se eliminaron por evaporación. Con la cual la descarga al río Lerma es nula.

Fertilizantes Mexicanos S.A. (Fertimex): La unidad el Bajío cuenta con un sistema de manejo, tratamiento y recirculación de las aguas que incluye la recuperación del nitrógeno amoniacal, con la cual se cumple con las CPD que se le han fijado. La unidad Salamanca instaló un sistema de recuperación de ácido clorhídrico y cuenta con fosas de homogeneización y neutralización, además de contar con un sistema de recuperación de fenoles en operación.

Tabla 2.4 Agua residual tratada

Infraestructura de tratamiento y reúso en operación	
Estructura	Cantidad
Plantas de tratamiento	21
Kilómetros de red de distribución ^a	783
Tanques de almacenamiento ^b	18
Plantas de bombeo ^c	16

(continúa...)

(Continuación)
Plantas de tratamiento de agua residual

Nombre	Capacidad (l/s)		Inicio de operación
	Nominal	Operación	
Chapultepec	160	120	1956
Coyoacán	400	260	1959
Ciudad Deportiva	230	75	1958
San Juan de Aragón	500	400	1964
Tlatelolco	22	18	1965
Cerro de la Estrella	4000	2300	1971
Bosques de las Lomas	55	22	1973
Acueducto de Guadalupe	80	53	1975
El Rosario	25	53	1981
San Luis Talxiatemalco	75	100	1989
Reclusorio Sur	30	24	1981
Colegio Militar	20	20	1980
Iztacalco	13	13	1971
Abasolo	15	5	1993
Parres	8	1	1993
San Nicolás Tetelco	15	---	---
San Miguel Xicalco	7.5	---	---
La Lupita	15	---	1994
Pemex	25	---	1994
Ciudad Universitaria	60	---	1977

a Del agua residual tratada, 54% se emplea para riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos, 20% en recarga de acuíferos, 13% en industrias, 8% en riego agrícola y 5% en el sector comercio (básicamente en el lavado de autos).

b Capacidad conjunta de 41 600 metros cúbicos.

c Capacidad conjunta de 60 mil litros por segundo.

Fuente: DGCOH, DDE, 1994.

Petróleos Mexicanos (Pemex). En la refinería de Salamanca, se está llevando a cabo un programa que comprende tanto el reuso de las aguas residuales de la ciudad y de la propia refinería, como el aprovechamiento de las aguas de retorno agrícola de Arroyo Feo.

Las aguas así rescatadas (1 200 l/s) serán utilizadas por Pemex en los procesos de enfriamiento de dicha refinería, con lo que el consumo total de agua de primer uso y en consecuencia el volumen de agua residual total descargado será disminuído drásticamente.

2.4 Aspectos legales de la disposición y reúso de las aguas residuales tratadas

Durante algunas décadas la política ambiental estuvo presente en los planes de desarrollo nacional, sin embargo es a partir de 1988 cuando alcanza una prioridad singular.

La política ecológica nacional sostiene como principios básicos que los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad mexicana y que de su equilibrio depende la vida y las posibilidades productivas presentes y futuras del país. Considera que los ecosistemas deben ser aprovechados, asegurando una productividad óptima sostenible y que ésta sea además compatible con su equilibrio ecológico e integral. La responsabilidad de la protección del equilibrio ecológico debe ser tanto por la autoridad como por los particulares y comprende tanto las condiciones presentes como aquellas que determinarán la calidad de vida de las generaciones futuras.

Los artículos 27 y 73 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece las bases para una ley con un concepto amplio de lo que significa proteger el ambiente y preservar el equilibrio ecológico. De ahí que la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, en vigor desde marzo de 1988, además de recoger tal orientación determine los criterios para la descentralización, al definir un

mecanismo de concurrencia de los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal, para la atención de las cuestiones ambientales.

En 1990 se contaba ya con un acervo de 50 normas técnicas que especifican los límites máximos permisibles de emisión y descarga de contaminantes, procedimientos y especificaciones en materia del agua, aire y suelo, así como otros cinco criterios ecológicos.

En lo que se refiere al agua la contaminación tiene alcances globales y de impacto directo en gran parte de las actividades productivas. La respuesta del gobierno federal a los problemas ocasionados por la contaminación del agua se inició en 1969. Para ello se crearon organismos federales a partir de 1971, se promulgaron leyes hasta culminar en marzo de 1988, con la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Es a principios de la década de los setenta cuando se advierte la competencia que se establece en los usos del agua, así como la creciente generación de desechos de todo tipo como resultado de las actividades productivas, los cuales al incorporarse a los cuerpos de agua, modifican las características de éstos y limitan su potencialidad de aprovechamiento y usos.

En el Plan Nacional Hidráulico de 1975, se da a conocer que México dispone de agua suficiente para su desarrollo futuro, siempre y cuando se utilice eficientemente y se conserve la calidad de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Con la creación de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico en 1976, se institucionalizó el proceso de planeación hidráulica y se sentaron las bases para el establecimiento en 1986 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con el propósito de desarrollar la tecnología y los recursos humanos calificados para el manejo racional e integral del agua, a corto y largo plazo. En 1989, se crea la Comisión Nacional del Agua, la cual es actualmente la única autoridad ejecutiva en la materia.

Con la finalidad de actualizar y completar la información relacionada con la problemática de contaminación del agua en México, se

inició el Programa de Estudios Diagnósticos de la Problemática de la Contaminación del Agua por Estado.

Así mismo se estableció el programa Nacional de Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales, cuyo objetivo principal es conocer el grado de contaminación de nuestras aguas superficiales por éste tipo de contaminantes, así como establecer las políticas necesarias para su prevención y control.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente realizada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, define la política ecológica y sus instrumentos de acción y control. Entre los instrumentos para la prevención y control de la contaminación del agua, se establece en el artículo 118 la necesidad de:

- I. Dictar criterios para la prevención y control de la contaminación del agua para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar daños y riesgos a la salud pública.
- II. Formular normas técnicas ecológicas que deba satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humanos.

En lo que se refiere al primer punto, en 1989 se publicaron, los criterios ecológicos de la calidad del agua, mismos que precisan un total de 24 parámetros y 98 sustancias y grupos de sustancias que por sus efectos adversos sobre la salud humana o los ecosistemas, se han considerado como prioritarios. En los criterios se establece la calidad mínima requerida para el uso o aprovechamiento del agua.

En lo que corresponde a las normas técnicas ecológicas, éstas establecen los requisitos que deben observarse para garantizar el bienestar de la población y asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección de los distintos cuerpos de agua del país.

Actualmente y considerando que las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y de los derrames de aguas industriales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de diversas fuentes, provocan efectos adversos en los ecosistemas, por lo que fue necesario fijar los límites máximos permisibles que deberán satisfacer dichas descargas; por lo anterior en octubre de 1993, se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de diversos giros industriales; esto con el consentimiento de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

En el caso en el que se identifique descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles acusen efectos negativos en el cuerpo receptor, la SARH, a través de la CNA, fijará Condiciones Particulares de Descarga (CPD) para señalar límites máximos permisibles más estrictos que los señalados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) correspondientes; además de establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los parámetros establecidos en cada norma.

Las obligaciones básicas de los permisionarios se encuentran en: el cumplimiento, generalmente por la vía del tratamiento de las aguas residuales, de las Condiciones Particulares de Descarga (CPD).

La SARH por conducto de la CNA, es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de las NOM, coordinándose con la Secretaría de Marina cuando las descargas sean al mar y con la Secretaría de Salud cuando se trate de saneamiento ambiental.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) realizada por la Comisión Nacional del Agua y puesta en vigor el 2 de diciembre de 1992 reglamenta los párrafos quinto y sexto del Artículo 27 Constitucional y tiene como

principal objetivo el de regular la explotación, la distribución y control, uso o aprovechamiento, y la conservación de la cantidad y calidad de las aguas propiedad de la nación, para lograr su desarrollo integral sustentable (Artículo I). El Reglamento de la Ley fué expedido en enero de 1994 y quedó abrogado el Reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua.

Los derechos otorgados por la LAN se asocian al aprovechamiento de fuentes determinadas que proporcionan un volumen de consumo para un uso inicial específico así como a determinadas condiciones para la descarga de agua residual. La autoridad tiene en todo momento la facultad de verificar el cumplimiento de los establecido en un Título de Conseción o Asignación que establece el derecho de explotar, usar o aprovechar el agua. Este mismo título contiene el permiso de descarga en las que se establecen las condiciones bajo las cuales el permisionario habrá de disponer de las aguas residuales.

Enseguida haremos una mención de las Leyes, Reglamentos y normas expedidos en materia del agua:

Leyes

Ley Federal de aguas
Ley de Conservación del Suelo y Agua
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Ley de Aguas Nacionales
Ley Federal de Derechos en Materia del Agua

Reglamentos

Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del agua
Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales



Reglamento del artículo 124 de la ley Federal de aguas.

Normas

Normas Oficiales Mexicanas

Las Normas Oficiales Mexicanas en Materia del Agua son actualmente 33 las cuales se enlistan a continuación:

Normatividad ambiental sobre descarga de aguas residuales

- NOM-CCA-001-ECOL/1993 De las centrales termoeléctricas convencionales
- NOM-CCA-002-ECOL/1993 De las Industrias productoras de caña
- NOM-CCA-003-ECOL/1993 De las aguas residuales provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica.
- NOM-CCA-004-ECOL/1993 De la industria de fabricación de fertilizantes la que produzca ácido fosfórico como producto intermedio.
- NOM-CCA-005-ECOL/1993 De la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.
- NOM-CCA-006-ECOL/1993 De la industria de fabricación de harinas.
- NOM-CCA-007-ECOL/1993 De la industria de la cerveza y de la malta.
- NOM-CCA-008-ECOL/1993 De la industria de fabricación de asbestos de construcción.
- NOM-CCA-009-ECOL/1993 De la industria elaboradora de leche y sus derivados.
- NOM-CCA-010-ECOL/1993 De las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.
- NOM-CCA-011-ECOL/1993 De la industria de productos de vidrio prensado y soplado.
- NOM-CCA-012-ECOL/1993 De la industria huleira.
- NOM-CCA-013-ECOL/1993 De la industria del hierro y del acero.
- NOM-CCA-014-ECOL/1993 De la industria textil.
- NOM-CCA-015-ECOL/1993 De la industria de la celulosa y el papel.
- NOM-CCA-016-ECOL/1993 De la industria de bebidas gaseosas.
- NOM-CCA-017-ECOL/1993 De la industria de acabados metálicos.
- NOM-CCA-018-ECOL/1993 De la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones
- NOM-CCA-019-ECOL/1993 De la industria de impregnación de productos de aserradero.
- NOM-CCA-020-ECOL/1993 De la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.
- NOM-CCA-021-ECOL/1993 De la industria del curtido y acabado de pieles.
- NOM-CCA-022-ECOL/1993 De la industria de matanza de animales y empaqueo de cárnicos.
- NOM-CCA-023-ECOL/1993 De la industria y envasado de conservas alimenticias.
- NOM-CCA-024-ECOL/1993 De la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.
- NOM-CCA-025-ECOL/1993 De la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada.
- NOM-CCA-026-ECOL/1993 De restaurantes o de hoteles.
- NOM-CCA-027-ECOL/1993 De la industria de beneficio del café.
- NOM-CCA-028-ECOL/1993 De la industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y de aceite de pescado.
- NOM-CCA-029-ECOL/1993 De hospitales.
- NOM-CCA-030-ECOL/1993 De la industria de jabones y detergentes.
- NOM-CCA-031-ECOL/1993 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-CCA-032-ECOL/1993 Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.
- NOM-CCA-033-ECOL/1993 De las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal, o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

Los Criterios Ecológicos precisan y establecen la calidad mínima requerida para el uso o aprovechamiento del agua.

Actualmente en nuestro país, el reúso del agua se lleva a cabo principalmente en actividades agrícolas e industriales, y en menor grado en actividades municipales, recreativa y recarga de acuíferos.

Sin embargo la reutilización de las aguas sufre ciertas limitaciones; en terminos generales se puede afirmar que reutilizar las aguas en forma indefinida es prácticamente imposible, incluso en la industria, principal consumidor de agua, los esfuerzos realizados en este sentido no rinde todavía los resultados deseables.

La reutilización de las aguas residuales se puede llevar a cabo a través de su reúso o recirculación.

Reúso: Es la utilización de un agua que ha sido descargada por un usuario anterior.

Recirculación: Es el uso de una misma agua, por un solo usuario, en diversos procesos, antes de su disposición.

La amplitud en el número de usos cuya demanda puede ser parcialmente cubierta con agua residual tratada, depende de la calidad con que ésta se obtiene de los procesos de tratamiento. Entre los usos cuya demanda puede ser satisfecha con agua residual tratada merece especial atención aquellos que reúnan los requisitos de ejercer mayor demanda de agua cuya calidad implique un menor grado de tratamiento, dado que de esta manera se obtienen los mayores beneficios al menor costo.

El agua factible de ser utilizada puede clasificarse según el uso a que se destine en:

Municipal	Recreativo
Industrial	Recarga de acuíferos
Agrícola	

Reúso Municipal: El reúso municipal de las aguas residuales tratadas, presenta la posibilidad de sustituir aguas de primer uso, de calidad potable, que hoy en día se emplea en actividades que no demandan esta calidad, por aguas residuales a las que previamente se les ha dado un tratamiento y acondicionamiento adecuado para garantizar su manejo sanitario.

Los usos municipales que puede tener un agua son muchos y de muy diversa índole, variando desde el agua para parques y jardines hasta el agua potable. La reutilización de las aguas residuales como una fuente de agua destinada al consumo humano debe estar sujeta a condiciones de dilución de aguas naturales, y a procesos de coagulación, filtración y cloración, para ser empleada en casos muy particulares que justifiquen esta variedad de reúso.

En la Ciudad de México y área metropolitana, se reusa para fines municipales aproximadamente 3 m³/s de agua residuales generadas por la propia población e industria instalada en esta área; y tratados a nivel secundario. Del agua residual tratada, 54% se emplea para el riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos, 20% en la recarga de acuíferos, 13% en industrias, 8% en riego agrícola y 5% en el sector comercio (básicamente en el lavado de autos).

Es recomendable intensificar otras posibilidades de reúso en: riego de parques y jardines, incluyendo zonas residenciales privadas; para control de incendios, a través de una línea especial para este fin; para limpieza de servicios sanitarios públicos o privados; proceso de lavado y enfriamiento de pequeña, mediana y gran industria; en servicio de lavado de automóviles, etc. a nivel nacional.

Reúso Industrial: El reúso y recirculación del agua residual tratada resulta ser una alternativa atractiva, en virtud de que los giros industriales, incluyendo a las plantas generadoras de energía, es la que demanda mayores volúmenes de agua en nuestro país.

No todas las industrias tienen los mismos requerimientos de calidad de agua, e incluso existen algunas como en el caso de la industria alimenticia donde prácticamente se descarta el reúso de las aguas residuales tratadas, sin embargo para la gran mayoría de las industrias, con los grandes avances tecnológicos logrados en el tratamiento de las aguas, es posible alcanzar el nivel de calidad de agua requerido a precios competitivos con el agua potable.

En la industria el 98% del agua puede emplearse nuevamente en alguna otra operación ya sea dentro de la misma planta o corriente a bajo de las corrientes de un cauce.

Las necesidades de agua en cada industria varía, los principales consumidores son la industria química y metalúrgica que extraen de 5 a 30 veces más agua que las industrias menores.

La recirculación del agua afecta muy poco a la calidad de líquido consumido, pero repercute enormemente en el volumen extraído de la fuente de abastecimiento.

Las principales funciones del agua dentro de la industria se pueden resumir en cuatro aspectos fundamentales:

- a) Aguas involucradas directamente con el proceso en sí.
- b) Aguas destinadas a operaciones de enfriamiento, con o sin contacto de los productos elaborados.
- c) Agua empleada en operaciones de limpieza y otros servicios auxiliares.

La planta de tratamiento de aguas de San Juan Ixhuatepec, con un caudal de 160l/s, sirve a varias industrias asentadas en su cercanía, dentro de las que se encuentran: Aceros corsa, Anderson Clayton and Co., hulera Euzcadi, Diosynth, Frenos Hidráulicos automotrices, Vidri plano de México, etc.

Los costos mensuales de tratamiento del agua están siendo soportados por las empresas usuarias en forma proporcional al servicio suscrito de suministro de agua tratada.

Al noroeste de la Ciudad de México, en la Zona de Tultitlán, Edo. de México, opera otra planta de tratamiento que capta, en su primera etapa, 400 l/s del interceptor poniente a la altura de lechería. Esta planta abastece a las industrias de la zona, donde actualmente se tiene un serio déficit de agua del subsuelo, principal fuente de abastecimiento.

Otros casos importantes de reutilización de agua en el Valle de México son el de la Termoeléctrica del Valle de México, que opera un sistema de lodos activados, el cual trata 850 l/s de agua del Gran Canal y los emplea con fines de enfriamiento, y el de la refinería de Tula Hidalgo, que cuenta con un sistema biológico para tratar 625 l/s de agua residual tomada del río Tula y que es empleada también en operaciones de enfriamiento.

Reúso Agrícola: La utilización de aguas residuales para riego agrícola no es un tema nuevo en nuestro país, sino por el contrario lleva la delantera, tanto en su uso como en la forma adecuada del manejo de las mismas, desde hace más de 70 años en el Valle de Tula Hgo., y en algunas pequeñas partes del Valle de México las aguas residuales crudas, es decir sin tratamiento alguno, han sido empleadas para regar una extensión superior a 60 000 ha., y existe un programa, que pretende cubrir otras 30 000 ha. utilizando sin tratamiento, las descargas que se generan en el área metropolitana de la Ciudad de México.

La consecuencia que ha acarreado el no tratar las aguas residuales antes de emplearse es, además de los problemas de carácter ambiental, el que se haya contaminado el acuífero subterráneo del Valle de Tula, imposibilitando la utilización de estas aguas como consumo humano.

Apesar de los beneficios obtenidos mediante éste reúso del agua, tiene sus desventajas ya que la mala planeación en su aplicación ocasiona graves daños, como son: problemas de salinidad de suelos, reducción en la productividad de cosecha; aumento en la concentración de metales pesados en el suelo e intoxicación de los cultivos por éstos;

contaminación bacteriológica en cultivos y animales, e implícitamente al hombre por el consumo de estos; propagación de larvas, plagas y enfermedades en los vegetales, etc.

Del total de aguas residuales generadas en el Valle de México, (32 m/s) alrededor de 8 m/s se emplean en el riego agrícola de aproximadamente 18 000 ha. en el propio Valle de México (Distrito de riego 88) y el resto se conduce a través de un complejo sistema, constituido por el Gran Canal de las Agües, el interceptor poniente, el emisor central y sus obras accesorias, al Valle del Mezquital, en el Edo. de Hgo, (distrito de riego 03), donde se benefician cerca de 56 000 ha. mediante riego seguro todo el año.

Algunas otras regiones del país que aprovechan las aguas residuales con fines agrícolas son: los Distritos 03 Valsequillo, Puebla; 028 en Tulancingo, Hgo.; 09 en Cd. Juárez. Además de las zonas agrícolas aledañas de otras 53 ciudades utilizan las aguas residuales generadas en ellas.

Las ventajas que presenta el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en la agricultura son:

Ampliación de las áreas de cultivo, con el consiguiente beneficio en el incremento de la producción agrícola.

Frenar el deterioro de los suelos, ocasionado por el riego con aguas residuales sin tratamiento, e incrementar el contenido de materia orgánica.

Permite disponer de mayores volúmenes de agua de primera calidad que inicialmente eran destinados a la agricultura para satisfacer las crecientes demandas de la población, evitando de ésta manera que se importen de fuentes cada vez más lejanas y costosas.

Es necesario hacer notar que independientemente de los criterios ecológicos para el riego en la agricultura, es necesario aplicar técnicas de manejo de suelos y procedimientos de riego para cada caso en

particular. Actualmente existen como ya se mencionó las Normas Oficiales Mexicanas para determinar la aplicabilidad de las aguas residuales a la agricultura.

Reúso en recarga de acuíferos: La recarga de acuíferos es una de las formas de aprovechamiento de las aguas residuales tratadas más complejas que existen, puesto que combinan el uso de las aguas con la disposición final de éstas. En las zonas costeras se obtiene agua de los mantos acuíferos subyacentes, la inyección de aguas tratadas a los acuíferos constituye no sólo una forma de recargar éstos, sino impedir la intrusión de las aguas salinas a dichos mantos. Otra posible forma de reutilización en éste sentido es la inyección de aguas tratadas en los estratos productores de petróleo para incrementar la productividad de los pozos.

La recarga artificial de acuíferos puede definirse como un conjunto de técnicas, cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por el incremento de los recursos, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo del agua.

La recarga artificial requiere que el terreno tenga zonas porosas y vacías que no drenen rápidamente al exterior y que almacenen convenientemente el agua.

La recarga artificial de acuíferos se puede realizar mediante tres formas: en superficie, a profundidad y una combinación de ambos.

La elección del método de recarga está en función del objetivo que se persigue, del tipo de acuífero y de las características del agua residual que se pretende infiltrar.

El almacenamiento subterráneo del agua tiene la gran ventaja de no utilizar la superficie del terreno, salvo el preciso para las instalaciones de recarga, y se evitan totalmente o en gran parte las pérdidas por evaporación.

La recarga en superficie se realiza cuando no existen formas geológicas impermeables próximas a la superficie del terreno.

Si la recarga es en superficie las características del agua deben ser tales que, considerando los procesos de remoción que se llevan a cabo al pasar el agua a través del suelo, al llegar al acuífero su calidad sea por lo menos igual a la que está presente en él.

Otra alternativa que aunque no es acorde con las leyes nacionales, es recargando un acuífero sabiendo que no tendrá la misma calidad del agua presente en éste y tratarla posteriormente, pero implica un conocimiento muy preciso de los límites del acuífero y un control muy estricto de los pozos de la zona de influencia.

Reúso recreativo: Los usos recreativos del agua residual tratada, puede clasificarse, en forma general, de acuerdo con el grado de contacto entre el usuario y el agua. Es necesario recalcar que para el uso recreativo se debe producir agua en cantidad y calidad adecuada.

El desarrollo tecnológico alcanzado en los sistemas de aguas residuales permite la obtención de efluentes que reúnen características de calidad apropiada para sus empleos con fines recreativos. La natación y los deportes acuáticos requieren necesariamente, de medidas estrictas respecto a la calidad del agua, sobre todo en la calidad bacteriológica y de los componentes químicos que pueden ser tóxicos al ser ingeridos por el hombre.

En nuestro país, el riego de parques, jardines y campos deportivos, así como el llenado de lagos artificiales son las prácticas más comunes de reúso de agua residual tratada con fines recreativos.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en actividades recreativas, es una práctica que es necesario promover, con el fin de mitigar los crecientes problemas de suministro de agua de los centros urbanos.

CAPITULO 3

Consideraciones generales de diseño

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno comprenderá de manera general los niveles de tratamiento del agua residual. Así mismo será capaz de seleccionar la capacidad de la planta y los criterios para su ubicación.

CAPITULO 3

CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

3.1 Tamaño y localización de la planta

Entre las características más importantes que se deben de tomar en cuenta para establecer el tamaño de una planta de tratamiento, estan las características del agua a tratar y la carga que se le dará a la planta de tratamiento.

Hay que tener en cuenta la capacidad de instalación y el método de tratamiento que se vaya a emplear.

El método de tratamiento se basa en consideraciones locales sobre el carácter, la fuerza y la cantidad de aguas negras.

La carga de una instalación de tratamiento de aguas negras se mide también en función de la cantidad y concentración de las aguas que se van a tratar, la capacidad de la instalación debe determinarse teniendo en cuenta los momentos de carga máxima, así como las cargas que puedan esperarse en un futuro próximo.

Los aspectos que deben tomarse en cuenta en el proyecto de las instalaciones de tratamiento, figuran:

En cuanto al agua residual:

- 1) La fuente y cantidad de agua que se va a tratar
- 2) Origen y composición de las aguas residuales producidas
- 3) Naturaleza de las aguas receptoras, en las que se vayan a disponer las aguas residuales tratadas.

Con respecto a la zona y población:

- 4) La configuración y topografía de la comunidad y sus zonas circundantes.
- 5) La población anticipada, el crecimiento industrial y la expansión del área.

Con respecto al personal y costos:

- 6) La experiencia del proyectista
- 7) Cumplimiento de las NOM según el agua residual a tratar
- 8) Los costos de construcción iniciales
- 9) Los costos futuros de operación y mantenimiento
- 10) La salud y seguridad del personal

Con respecto a las instalaciones y equipo:

- 11) Acceso al equipo
- 12) Flexibilidad en regulación y funcionamiento
- 13) Posibilidades del operador, respecto a la selección y localización del equipo
- 14) Flexibilidad de las tuberías y de las válvulas, para poder regular el gasto de las aguas negras que pasa por la instalación
- 15) Provisiones contra interrupción del funcionamiento
- 16) Elementos para una buena conservación de los edificios y de los terrenos inmediatos
- 17) Iluminación, ventilación y drenaje adecuados, en todas partes de la instalación
- 18) Localización de medidores, registros, válvulas, puntos de muestreo y otros elementos, de modo que tengan fácil acceso y facilidad de funcionamiento y conservación

El tamaño más económico de cualquier unidad está determinado por consideraciones del costo de varias partes del equipo

y de la construcción, tomando en cuenta que los costos de construcción aumentan con la profundidad de excavación en unidades como depósitos de mezclado o de sedimentación.

La figura 3.1 nos presenta un esquema de una planta de tratamiento típica.

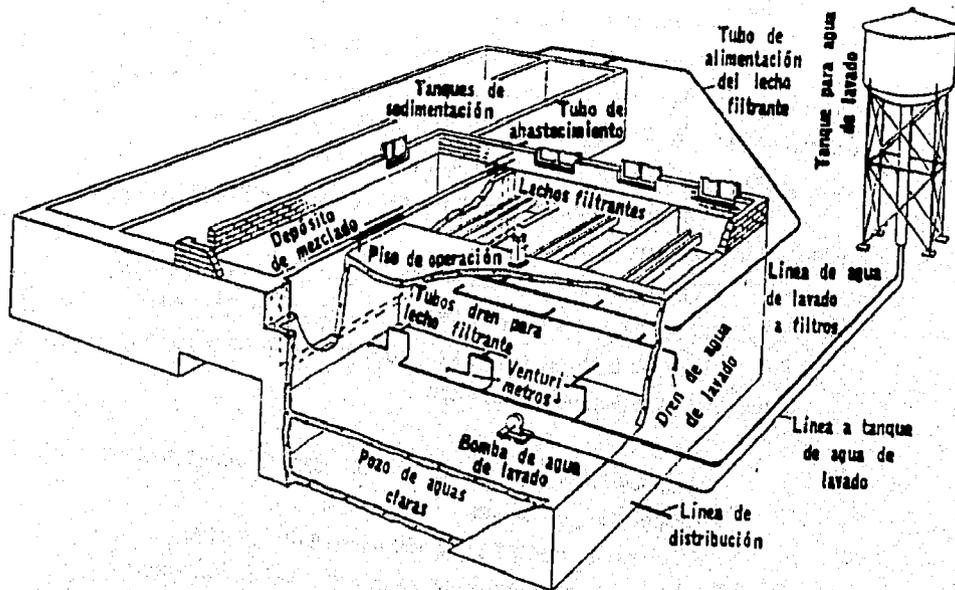


Figura 3.1 Planta de tratamiento típica

Localización

La clave para la localización de una planta es:

- La topografía
- Las cimentaciones (Tipo de suelo)
- Los riesgos físicos
- Comercialización
- Costos económicos y financieros
- Condiciones sociales
- Condiciones políticas

Los costos de construcción de las plantas que operan con mucha pérdida de carga se pueden reducir si se colocan en la ladera de una colina. Otras ventajas posibles, es tener la entrada al nivel del suelo a los pisos superiores de los edificios de servicio.

Para ubicar la planta en los sitios húmedos éstos se deben deshidratar durante la construcción.

Cuando el terreno tiene baja capacidad de carga, las estructuras se deben colocar sobre pilotes o placas de revestimiento.

Para proteger las plantas de tratamiento de riesgos físicos se pueden tomar las siguientes medidas.

- 1) Construir las por encima del nivel máximo de las aguas
- 2) Rodearlas de diques
- 3) Construir herméticas las estructuras de los sótanos
- 4) Ubicar el equipo delicado sobre el nivel de inundación

Otros factores que se consideran para su localización son:

- a) Distancia a la residencia más cercana
- b) Camino de acceso
- c) Tamaño, paisaje
- d) Estudio de Impacto ambiental
- e) Previsión para futuras expansiones

La figura 3.2 nos presenta un esquema de una planta de tratamiento.

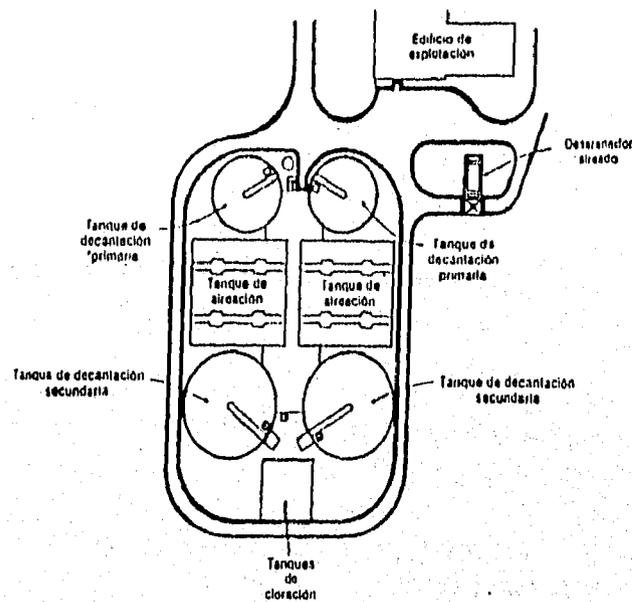


Figura 3.2 Planta de tratamiento vista superficial

3.2 Niveles de tratamiento

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los contaminantes que hayan que eliminarse para que el agua residual pueda reutilizarse o disponerse al medio ambiente.

Los niveles de tratamiento para la eliminación de la contaminación del agua residual pueden agruparse como:

- Procesos Físicos
- Procesos Químicos
- Procesos Biológicos

O también como:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario o avanzado

El tratamiento preliminar se emplea para la eliminación de las partículas más grandes de materiales flotantes.

El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y materiales flotantes, en base a la sedimentación de las partículas.

El tratamiento secundario comprende tratamiento biológicos convencionales.

El objetivo del tratamiento terciario es la eliminación de contaminantes generalmente sólidos disueltos, para obtener un agua de mayor calidad.

Estos niveles de tratamiento son los que se desarrollarán en los capítulos siguientes.

La Tabla 3.1 nos proporciona los niveles de tratamiento y las operaciones que se realizan en cada uno de ellos.

Tabla 3.1

Tratamiento preliminar
Desmenuzado, trituración, aereación.
Regulación del flujo. Eliminación de sólidos de gran tamaño.
Mezclado. Desarenadores, cárcamos de bombeo.
Enfriamiento
Tratamiento primario
Cribado o desbrozo
Sedimentación
Flotación
Separación de aceites
Homogeneización
Neutralización
Tratamiento secundario
Lodos activados
Aireación prolongada (procesos de oxidación total)
Estabilización por contacto
Otras modificaciones del sistema convencionales de los lodos activos: Aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro
Lagunaje por aireación
Estabilización por lagunaje
Filtros biológicos (percoladores)
Discos biológicos
Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)
Tratamiento terciario o "avanzado"
Microtamizado
Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas)
Precipitación y coagulación
Adsorción (carbón activado)
Intercambio iónico
Osmosis inversa
Electrodialisis
Cloración y ozonización
Procesos de reducción de nutrientes
Otros

3.3 Descripción general de los niveles de tratamiento: preliminar, primario, secundario y avanzado. Desinfección y Tratamiento de lodos.

La eliminación de los contaminantes del agua puede realizarse por medios físicos, químicos y biológicos, o una combinación de éstos.

Los métodos individuales más comunes son clasificados como operaciones unitarias físicas, procesos unitarios químicos y procesos unitarios biológicos.

Procesos físicos unitarios: En este proceso predomina la aplicación de las fuerzas físicas. El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, filtración, cribado, desmenuzado, regulación de flujo y enfriamiento son ejemplos típicos de éste proceso.

Procesos químicos unitarios: Es la eliminación o conservación de los contaminantes provocado por la adición de productos químicos o por otras reacciones químicas. La precipitación química, transferencia de gases, adsorción, neutralización, reacciones de oxidación-reducción e intercambio iónico son ejemplos típicos de éste proceso.

Procesos biológicos unitarios: Es la eliminación de los contaminantes por medio de una actividad biológica. Los filtros rociadores, lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas alreodas y zanjas de oxidación son ejemplos típicos de éste proceso.

Pretratamiento o tratamiento preliminar: Este tipo de tratamiento es más que nada para proteger el equipo de bombeo, eliminando los materiales más grandes que se encuentren en el agua

residual y que de alguna manera pudieran afectar el equipo de bombeo, y hacer más fáciles los procesos subsecuentes de tratamiento.

Los dispositivos para llevar a cabo este tratamiento son:

- 1) Rejas y cribas de barras
- 2) Cribas finas
- 3) Desmenzadores
- 4) Desarenadores
- 5) Tanques de preaeración
- 6) Cárcamos de bombeo

Con éstos dispositivos se separan o se eliminan los sólidos mayores o flotantes, los sólidos Inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites y grasas.

Tratamiento primario: Por este tratamiento se eliminan de 40 a 60% de sólidos suspendidos mediante procesos físicos de sedimentación en tanques y por medio de mallas. Se pueden agregar productos químicos a los tanques primarios para eliminar casi todos los sólidos coloidales y así eliminar del 80 al 90% de los sólidos suspendidos.

La función de los dispositivos es el de disminuir la velocidad del agua para que se sedimenten los sólidos.

Los tanques de sedimentación se pueden clasificar en:

- 1) Tanques sépticos
- 2) Tanques de doble acción (Imhoff)
- 3) Tanques de eliminación simple con eliminación mecánica de lodos.
- 4) Clasificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de lodos

Cuando se usan productos químicos, se usan otras unidades auxiliares:

- 1) Unidades alimentadoras de reactivos
- 2) Mezcladores
- 3) Floculadores

La remoción de grasas y aceites por medio mecánico se incluye dentro del tratamiento primario, así como el proceso de neutralización.

Tratamiento secundario: Por medio de este nivel de tratamiento se elimina la materia orgánica y sólidos en suspensión que quedan después de un tratamiento primario (sólidos coloidales). Este tratamiento depende de los organismos aerobios, para descomponer los sólidos orgánicos y transformarlos en sólidos inorgánicos o sólidos orgánicos más estables. Usualmente esta oxidación está seguida por una sedimentación y una desinfección.

Los dispositivos usados en este tratamiento son:

- 1) Filtros percoladores
- 2) Filtros goteadores con tanques de sedimentación secundaria.
- 3) Tanques de aereación
 - a) Lodos activados con tanques de sedimentación simple
 - b) Aereación por contacto (lagunas aireadas)
 - c) Discos biológicos
 - d) Zanjas de oxidación
- 4) Filtros de arena intermitentes
- 5) Lagunas o estanques de estabilización.

Tratamiento terciario o avanzado: Es el tratamiento para reducir la concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas en el effluente proveniente de un sistema de tratamiento secundario (sólidos disueltos). Dentro de éste tratamiento se incluyen los procesos empleados para remover sustancias que no son removidas o reducidas significativamente en los procesos primario y secundario, como es el caso de los nutrientes, metales pesados, detergentes y otras sustancias tóxicas. Los procesos de tratamiento terciario pueden ser físicos, químicos, biológicos o una combinación de ellos; por tanto los dispositivos usados en un tratamiento terciario pueden ser los mismos que los usados en los procesos anteriores.

Como tratamiento terciario se considera: las filtración, el intercambio iónico, la coagulación química, ósmosis inversa, electrodiálisis, microtamizado, precipitación, adsorción, cloración, ozonización y procesos de reducción de nutrientes.

Desinfección: Es el medio por el cual se eliminan los contaminantes patógenos que contiene el agua residual y que son causa de enfermedades graves, la desinfección se logra por medios físicos y químicos.

Una buena desinfección debe ser capaz de eliminar todos los organismos patógenos como son: virus, bacterias y quistes de amibas.

La desinfección se lleva a cabo ya que ninguno de los tratamientos por los que pasa el agua residual da una garantía de que el agua sea potable y por lo tanto se tiene que tomar la desinfección como una medida para eliminar los organismos patógenos y poder reutilizarla o disponerla.

La desinfección se puede llevar a cabo en cualquiera de los niveles de tratamiento.

Los factores que se toman en cuenta para la eficacia de la desinfección son:

- 1) Tipo y concentración de los organismos que deben destruirse
- 2) Tipo y concentración del desinfectante
- 3) Tiempo de contacto establecido
- 4) Características químicas y temperatura del agua que se va a tratar

El agua residual se puede desinfectar recurriendo a varios medios como son:

Medios físicos:

- Aplicación de calor (ebullición)
- Radiación (Luz ultravioleta)

Medios químicos:

- Iones metálicos (cobre y plata)
- Los alcalis y ácidos
- Productos químicos tensoactivos (compuestos de amoníaco cuaternario)
- Productos químicos oxidantes (halógenos: cloro, bromo, yodo; ozono, permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno)

El desinfectante más usado por su economía es el cloro, ver capítulo correspondiente a Desinfección de aguas residuales.

Tratamiento de lodos: Es el proceso por el cual pasan los sólidos (lodos) que quedan después de que el agua residual pasa por los tanques de sedimentación primaria y secundaria y cuyo objetivo es eliminar el agua que éstos contienen para reducir su volumen y para que se descompongan los sólidos orgánicos putrescibles y transformarlos en sólidos minerales o sólidos orgánicos estables.

El lodo se define como los sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques o estanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semilíquida.

Debido a los diversos procesos de tratamiento de lodos, éstos reciben nombres específicos como son:

- Lodos crudos o primarios, que son producidos por los tanques de sedimentación primaria.
- Lodos secundarios que son producto de los tanques de sedimentación secundaria o finales.
- Lodos activados que son resultado del proceso de lodos activados.
- Lodos digeridos y lodos deshidratados que son autoexplicativos.

Los lodos primarios son de olor desagradable y sujetos a una putrefacción rápida; los lodos secundarios y los lodos activados son menos objetables, pero se descomponen rápidamente.

Para el tratamiento de los lodos se emplean los siguientes métodos o una combinación de ellos:

- 1) Espaciamento
- 2) Digestión, con o sin aplicación de calor
- 3) Secados en lechos de arena
- 4) Acondicionamiento con productos químicos
- 5) Eutricación
- 6) Filtración al vacío
- 7) Secado aplicando calor
- 8) Incineración
- 9) Oxidación húmeda
- 10) Flotación con productos químicos y aire
- 11) Centrifugación

CAPITULO 4

Tratamiento preliminar

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno diseñará funcionalmente y de manera preliminar los dispositivos de entrada a la planta de tratamiento.

CAPITULO 4

TRATAMIENTO PRELIMINAR

4.1 Rejas y cribas de barras

El tratamiento preliminar es el primer paso para el tratamiento de aguas negras, consiste en separar las partículas más grandes de materiales flotantes o en suspensión, que pudieran obstruir las atarjeas, los conductos o las obras de tratamiento. Es el acondicionamiento de cualquier desecho líquido, en el lugar donde se origina, antes de su descarga.

Los dispositivos de este tratamiento se diseñan para:

- Separar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos.
- Separar los sólidos inorgánicos pesados, como grava, arena, objetos metálicos; a todo lo cual se le llama arena.
- Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

Dispositivos para pretratamiento:

- Rejas y cribas de barras
- Cribas finas
- Desmenuzadores
- Desarenadores
- Tanques de preaeración
- Cárcamo de bombeo

A continuación se darán las definiciones de cada dispositivo así como el diseño de los más importantes .

Rejas: Son una serie de barras o soleras de metal paralelas, colocadas verticalmente o con un determinado ángulo de inclinación, las barras están espaciadas de 2 a 15 cm y con un ángulo de 45 a 60 ° de inclinación, su objetivo es detener los objetos grandes tales como troncos, botellas y embases de plástico.

Cribas de barras: Este dispositivo también es llamado criba gruesa o rejilla, son similares a las rejas , la separación en las barras es más pequeña generalmente de 2.5 a 5 cm para unidades de limpieza manual y de 1.5 a 5 cm en cribas de limpieza mecánica; el objetivo de éste dispositivo es remover pequeños objetos como ramas, bolsas de plástico, telas, papel, entre otros.

A continuación se dan algunas definiciones de rejillas o cribas existentes.

Rejillas de barras o rastrillo: Está formada por barras paralelas.

Rejilla de tela mecánica: Está formada por una almabrada de fábrica.

Parrilla: Consta de dos series de barras paralelas, en el mismo plano, que se cortan en ángulo recto.

Rejilla de banda: Consiste en una banda o cinta sin fin, perforada que pasa sobre dos cilindros, uno superior y otro inferior.

Rejilla de lámina perforada: Hecha con una banda sin fin de lámina perforada y es semejante a la rejilla de banda.

Rejilla de alas: Tiene aberturas radiales, espaciadas uniformemente que giran sobre un eje horizontal.

Rejilla de discos: Consta de un disco circular perforado, con o sin un cono central, truncado del mismo material, montado en el centro.

Rejilla de tambor: Es un cilindro o cono de lámina perforada o de tela mecánica, que gira sobre un eje horizontal.

Rejilla de compuerta: Es parecida a una rejilla de alas, pero con alas semicirculares.

Rejilla de jaula: Consiste en una caja rectangular con la paredes laterales formadas por barras paralelas, y sin pared en la parte de aguas arriba de la corriente. El fondo y el techo pueden ser de lámina de acero continua y perforada.

Las rejillas o cribas se pueden clasificar en fijas, móviles ó móviles.

Rejillas fijas: Se encuentran en una misma posición permanente y se limpian haciendo uso de rastrillos o dientes que se hacen pasar entre las barras.

Cribas móviles: Son estacionarias mientras están funcionando, se pueden desmontar para sacarlas de las aguas negras con fines de limpia.

Cribas móviles: Están en funcionamiento contínuo, mientras funcionan, y se limpian por si mismas durante su propio funcionamiento. La figura 4.1 nos presenta algunas rejillas móviles.

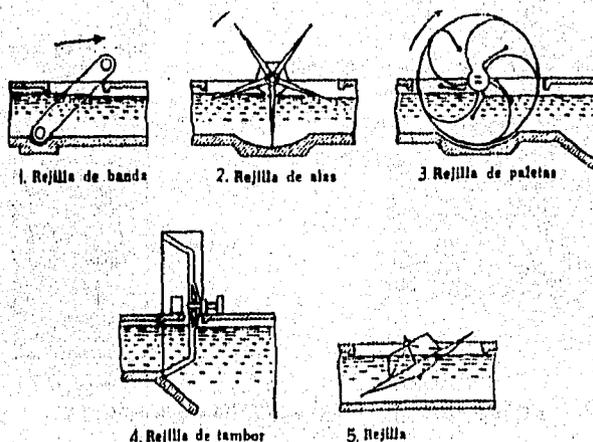


Figura 4.1 Rejillas móviles.

Por otro lado el tamaño de las aberturas de una rejilla, depende de la clase de aguas negras que se vayan a tratar y el objeto que se persiga.

El tamaño de las aberturas entre barras deberá ser tan grande como sea posible, pero que a la vez proteja el equipo que se encuentra posteriormente.

Existen las rejillas grandes, con aberturas comprendidas entre 3.7 a 7.5 cm.

Las rejillas de tipo medio, con aberturas de 6 mm a 5.0 cm

Las cribas para separación de elementos más finos, suelen tener aberturas en forma de ranuras de 6 a 1.6 mm de anchura y de 6 a 51 mm de longitud.

Las aberturas entre barras deben ser de 2.5 a 5.0 cm en cribas de limpieza manual.

En cribas de limpieza mecánica pueden ser reducidas a 1.5 cm. La figura 4.2 nos presenta una rejilla con limpieza mecánica.

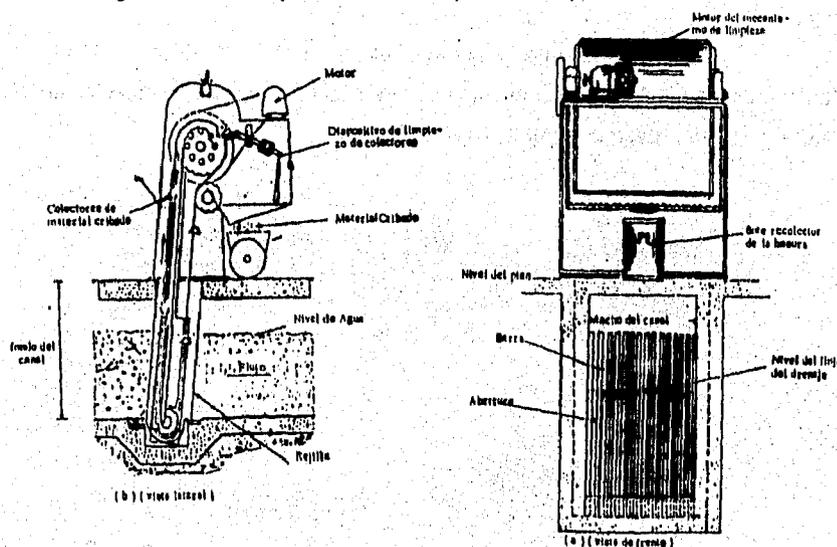


Figura 4.2 Rejilla con limpieza mecánica

A continuación hablaremos de las pérdidas de carga a través de la rejilla y de las cribas, que influyen en el diseño de las mismas. Las pérdidas de carga fue sugerida por Kischmer, y está en función de la carga de velocidad y se calculan con la siguiente fórmula para rejillas con barras de diferentes formas

$$H = \beta (w/b)^{4/3} (V^2/2g) \text{ sen } \theta$$

donde:

H = Pérdida de carga, m

w = Anchura máxima de las barras de frente al flujo, m

b = La anchura máxima de las aberturas o claros entre pares de barras, m

V = Velocidad del flujo a través del canal, m/s

g = Aceleración de la gravedad

θ = El ángulo de la rejilla con la horizontal

β = Un factor de la forma de las barras, (tabla 4.1).

En la Tabla 4.1 se dan los valores del coeficiente β .

Tabla 4.1
Coefficientes de β

Forma de la sección de la barra	Valores de β
Rectangular de aristas vivas	2.42
Para barras rectangulares con cara aguas arriba de forma semi-circular	1.83
Para barras circulares	1.79
Para barras rectangulares con caras semi-circulares en lo lados aguas arriba y aguas abajo	1.67
Para barras con cara circular aguas arriba y acompañándose simétricamente hacia una cara pequeña, semi-circular aguas abajo (forma de lágrima)	0.76

En cuanto al proyecto de un canal de rejilla, para satisfacer los requisitos de área, velocidad y profundidad, se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- El gasto de escurrimiento (gasto de diseño)
- Las dimensiones y el espaciamento de las barras
- La velocidad del escurrimiento normal en la rejilla (1.8 - 2 m/s)
- La anchura de las aberturas de las rejillas
- La anchura de la cámara de la rejilla
- El ángulo de la rejilla con la horizontal
- La longitud de la rejilla sumergida
- El tirante de escurrimiento en la cámara de la rejilla
- Tamaño de los sólidos.

La longitud y la anchura de la rejilla, se fijan de modo que la cámara de la misma puedan tener dimensiones convenientes y que se logre la abertura necesaria en la rejilla. La anchura de la cámara y de la rejilla deben ser iguales.

La figura 4.3 nos presenta los parámetros de diseño de las rejillas de limpieza manual así como sus valores típicos.

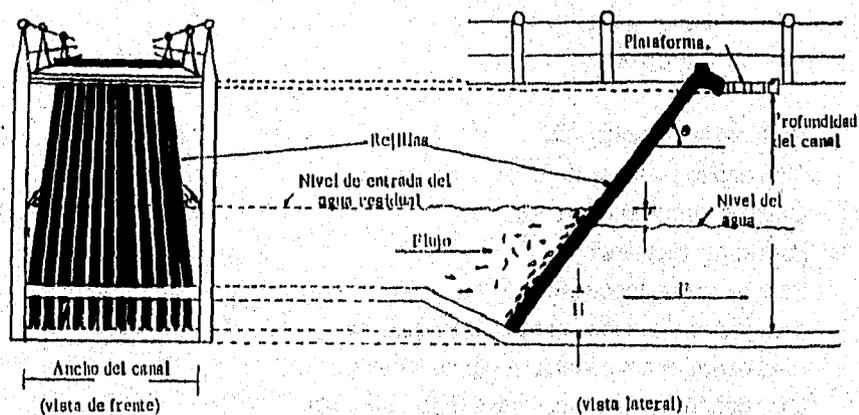


Figura 4.3 Canal de rejilla

PARAMETROS	VALORES TÍPICOS
V, Velocidad a través de la rejilla	60 cm/s con flujo normal
H, Desnivel de la plantilla del canal de rejilla y la del canal de entrada	8 a 15 cm
Ø, Angulo de inclinación de las rejillas	30 a 60° para limpieza manual
P, Caídas de presión	< 15 cm de agua

Para el proyecto se hacen suposiciones respecto a los factores que se puedan determinar y se calculan los que dependen de ellos; esto se hace hasta llegar a un proyecto conveniente.

4.2 Cribas finas

Las cribas finas son generalmente de malla de alambre de cerca, con aberturas no mayores de 0.64 cm². Como las mallas finas pueden necesitar frecuente limpieza, deben estar colocadas en lugares de fácil acceso.

Las cribas finas pueden ser estacionarias o móviles.

Las cribas estacionarias se limpian sacandolas del agua y lavando el material recogido.

Las cribas móviles son bandas sin fin muy finas o una serie de tableros de malla de alambre muy fina montados en una cadena que un motor mueve lentamente.

Al tiempo que la malla, se eleva sobre el nivel del agua, los residuos recogidos se descargan, mediante el auxilio de un chorro de agua.

La figura 4.4 nos presenta una criba fina móvil mecánica.



Figura 4.4 Criba fina móvil mecánica

Para el diseño de un canal de rejillas las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$Q = V \cdot A$$

donde

Q = Gasto, en m³/s

V = Velocidad, en m/s

A = Área de la sección transversal, en m²

$$B = A / h$$

donde

B = Ancho del canal, en m

h = Tirante, en m

$$N_b = (E_b + B) / (C_b + E_b)$$

donde

N_b = Número de barras

E_b = Espesor de las barras, en m

C_b = Espacio entre barras, en m

$$N_e = N_b + 1$$

donde

N_e = Número de espacios

$$B_c = (N_e) (C_b) + (N_b) (E_b)$$

donde

B_c = Ancho del canal corregido, en m

$$h_c = A / B_c$$

donde

h_c = Tirante corregido, en m

$$V_c = Q / (B_c * h_c)$$

donde

V_c = Velocidad de escurrimiento a través de la rejilla, en m/s

$$V_r = Q / (N_e * C_b * h_c)$$

donde

V_r = Velocidad real

Con el siguiente ejemplo ilustraremos el empleo de las fórmulas de diseño para un canal de rejillas.

Diseñar las rejillas de la planta de tratamiento a la cual ingresa un gasto de $Q = 300$ l/s, se pretende que el canal de llegada sea rectangular, la inclinación de las barras será de 60° con limpieza mecánica, y las barras serán redondas de $1/2$ " de diámetro. El gasto se distribuye en tres canales.

Solución:

Datos:

$$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qd = 0.3/3 = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$\varnothing = 1/2" = 1.27 \text{ cm}$$

$$V = 1 \text{ m/s}$$

Calculando A

$$A = Q/V$$

$$A = 0.1/1 = 0.1 \text{ m}^2$$

Si $A = bd$ y si $b = 2d$

$$d = b/2$$

sustituyendo

$$A = b(b/2) = b^2/2$$

despejando b

$$b = \sqrt{2A} = \sqrt{2(0.1)} = 0.447 \text{ m} \approx 50 \text{ cm}$$

Se recomienda un ancho de $b = 50 \text{ cm}$

Si $A=db$, despejando d

$$d = A/b = 0.1/0.5 = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

Por lo tanto

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

Calculando el Número de barras y considerando una C_b de 5 cm.

$$N_b = (1.27 + 50) / (5 + 1.27) = 8.18 \approx 9 \text{ barras}$$

Despejando C_b

$$C_b = (E_b + b/N_b) - E_b$$

$$C_b = (1.27 + 50/9) - 1.27 = 4.427 \text{ cm}$$

Entonces calculando las pérdidas por rejilla

$$H = 1.79 (0.0127/0.04427)^{4/3} (1^2/2(9.81)) \text{ sen } 60^\circ = 0.015 \text{ m}$$

La altura del canal quedará entonces considerando 20 cm de bordo libre

$$\text{Altura del canal} = 0.20 + 0.015 + 0.20 = 0.42 \text{ m}$$

Corrección del canal

Base corregida

$$Bc = 10(4.427) + 9(1.27) = 55.7 \approx 56 \text{ cm}$$

Tirante corregido

$$hc = A/Bc = 0.1/0.56 = 0.18 \text{ m}$$

Pendiente del canal

$$R = (hc \cdot Bc) / (2hc + Bc) = (0.18 \cdot 0.50) / (2 \cdot 0.18 + 0.50) = 0.09 / 0.86 = 0.105 \text{ m}$$

$n = 0.013$ rugosidad para el concreto

$$s = (Vn/R^{2/3})^2 = (1 \cdot 0.013/0.105^{2/3})^2 = 0.0034$$

La velocidad en la reja será

$$Vr = Q/Ne \cdot Cb \cdot hc = 0.1 / (10 \cdot 4.43 \cdot 0.18) = 1.29 \text{ m/s}$$

La velocidad corregida es

$$Vc = R^{2/3} \cdot s^{1/2} / n = 0.105^{2/3} \cdot 0.0034^{1/2} / 0.013 = 0.99 \text{ m/s}$$

Por lo tanto el canal será de:

B = 56 cm

h = 42 cm

Con una reja de 9 barras circulares separadas a 4.43 cm con un diámetro de 1/2".

4.3 Desmenuzadores

Este dispositivo corta y tritura los sólidos grandes que llevan las aguas residuales para que puedan bombearse y tratarse en procesos subsecuentes. Las cribas preceden usualmente a los desmenuzadores, los cuales se usan en lugar de las rejillas cuando la remoción o disposición de material cribado es difícil.

Las características y especificaciones de los desmenuzadores los proporcionan los fabricantes y sus distribuidores.

4.4 Desarenadores

La función de éste dispositivo es el de separar arenas (gravas, cenizas y cualquier otra materia pesada).

Sirven para proteger las bombas de la abrasión y desgaste anormales, para reducir los depósitos pesados en las tuberías, canales y conductos y para evitar la limpieza frecuente debido a la acumulación de arenas en tales unidades.

Normalmente se instalan los dispositivos de remoción de arenas a continuación de las rejillas y antes del equipo de bombeo. Algunas veces las líneas de drenaje pueden estar demasiado profundas, por lo que no es práctico colocar el dispositivo de remoción de arenas antes de las bombas. En tales casos el dispositivo de remoción de arenas se

coloca después de las bombas, requiriéndose bombas resistentes a los abrasivos.

Existen dos unidades principales para la remoción de arenas:

Desarenadores de flujo horizontal : Son canales rectangulares que mantienen una velocidad controlada del agua residual, de manera que las arenas sedimentan hasta el fondo del canal y los sólidos orgánicos putrecibles ligeros pasan a las subsecuentes unidades de tratamiento.

Tanques aireados: Son unidades que cuentan con dispositivo de aireación en el tanque, para provocar mediante el control de la cantidad de aire incluido, que se mantenga en suspensión la materia orgánica y sedimenten las arenas hasta el fondo del tanque. Este tipo de unidades desarenadoras requieren de compresores de aire y equipo asociado. Sus características y especificaciones son proporcionados por sus proveedores.

Diseño de cámaras desarenadoras: La velocidad debe mantenerse siempre cerca de los 30 cm/s, esto permitirá la sedimentación de las arenas y también mantendrá en suspensión a la mayor parte de la materia orgánica. Para el mantenimiento de ésta velocidad se deberá equipar a la cámara desarenadora con un dispositivo de control de velocidad (vertedor).

Para poder hablar del diseño de desarenadores es importante conocer los principios fundamentales de la sedimentación de las partículas discretas que puede describirse por medio de la ley de Newton, la cual establece que la velocidad final de sedimentación es:

$$V = \left\{ \frac{4g(\rho_s - \rho) d}{3 C_D \rho} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

donde:

V = Velocidad final de sedimentación
 ρ_s = Densidad de la partícula
 ρ = Densidad del flujo
 g = aceleración de la gravedad
 d = Diámetro de la partícula
 y C_d es un coeficiente de arrastre adimensional definido por

$$C_d = 24 / N_R + 3 / \sqrt{N_R} + 0.34$$

en donde N_R es el número de Reynolds, $vd \rho / \mu$, donde μ es la viscosidad absoluta del fluido, y el resto de los términos son definidos anteriormente.

La ecuación anterior es aplicable para números de Reynolds inferiores de 1000, lo cual abarca a todas las situaciones de interés de las aguas residuales.

Cuando N_R es pequeño (menor de 0.5) el último término de la ecuación puede despreciarse y queda:

$$C_d = 24 / N_R + 24\mu / v d \rho$$

y al sustituir en la ecuación 1 da lugar a:

$$V = (g/18\mu) (\rho_s - \rho) d^2$$

que es la ley de Stokes.

El diseño de los desarenadores de flujo horizontal debe ser tal, que bajo las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena alcance el fondo del canal antes de su extremo de salida. Normalmente los desarenadores se proyectan para eliminar todas las partículas de arena que quedan retenidas en un tamiz de malla 65 (diámetro de 0.21 mm), aunque muchos desarenadores hayan sido diseñados para eliminar partículas de arena retenidas en un tamiz de malla 100 (diámetro 0.15 mm).

La longitud del canal estará regida por la profundidad que requiere la velocidad de sedimentación y la sección de control, y el área de la sección transversal lo será por el caudal y el número de canales.

En la tabla 4.2 se nos presenta la información típica para el proyecto de desarenadores de flujo horizontal.

Tabla 4.2

Tipo de tanque	Valor	
	Intervalo	Típico
Rectangular:		
Profundidad, m	3,0 - 5,0	3,6
Longitud, m	15 - 90	25 - 40
Anchura, m*	3 - 24	6 - 10
Velocidad de los rascadores, m/min	0,6 - 1,2	1,0
Circular:		
Profundidad, m	3,0 - 5,0	4,5
Diámetro, m	3,6 - 60,0	12 - 45
Pendiente de la solera, mm/m	60 - 160	80
Velocidad de los rascadores, r/min.	0,02 - 0,05	0,03

* Si las anchuras de los tanques rectangulares de limpieza mecánica son mayores de 6 m, pueden utilizarse compartimentos múltiples con equipos de raspado individual, permitiendo, por tanto, anchuras de tanques hasta 24 m o mayores.

Las cámaras desarenadoras se pueden limpiar a mano, mecánicamente o hidráulicamente. Se dice que la capacidad de una cámara desarenadora está en proporción directa con el área de la superficie, cualesquiera que sean las relaciones de anchura, profundidad y velocidad.

Las partículas de gran tamaño las cuales sedimentan a mayores velocidades, serán eliminadas en cualquier caso sigan o no las leyes de Stokes o Newton.

Toda partícula que entra al tanque tiene una velocidad horizontal igual a la del líquido:

$$V = Q/A = Q/b \cdot h$$

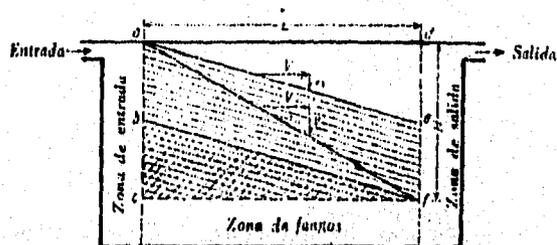
y una vertical, V_s , igual a la velocidad final de sedimentación definida por la ley de Stokes o Newton.

Para que la partícula pueda ser eliminada sus velocidades de sedimentación y horizontal deben ser tales que se resultante V_r , la conduzca al fondo del tanque antes de alcanzar la denominada zona de salida. Si una partícula entra en el tanque por su parte superior (punto a) es eliminada, todas aquellas que tengan la misma velocidad de sedimentación serán igualmente eliminadas. Teniendo en cuenta la inclinación del vector velocidad desde "a" a "f" y las dimensiones del tanque, se puede escribir:

$$V_s/V = h/L, \text{ o}$$

$$V_s = Vh/L = h/L \cdot Q/b \cdot h = Q/bL$$

$$V_s = Q/bL$$



Esta última ecuación es la carga de superficie, la cual es numéricamente igual al caudal entre el área de la superficie del tanque, pero físicamente representa la velocidad de sedimentación de las partículas más lentas que serán eliminadas el 100%.

Por otro lado el tiempo de retención para que una partícula de 2.65 de gravedad específica con un diámetro de 0.2 mm o más pueda ser sedimentada antes de salir del tanque está dado por el volumen del tanque dividido entre el caudal.

$$Tr = Vo/Q$$

donde

Tr = tiempo de retención

V_0 = Volumen del tanque

Q = Gasto

La función de una cámara para la eliminación de la arenilla es disminuir la velocidad de las aguas negras lo suficiente para permitir la sedimentación de las partículas de mayor gravedad específica en tanto que se arrastran las partículas orgánicas más ligeras.

En la eliminación de la arenilla se ha encontrado un tiempo de retención de aproximadamente 1 min. en la cámara y una velocidad de 30 cm/s aproximadamente.

Para su diseño se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Q = V \cdot A$$

donde

Q = Gasto, en m^3/s

V = Velocidad, en m/s (0.3 m/s)

A = Área de la sección transversal, en m^2

$$A = B \cdot h$$

donde

B = Ancho de la cámara, en m (0.6 m mínimo recomendable)

h = Tirante máximo, en m

Para sistemas superficiales pequeños es permisible hasta $B = 0.4 m$ y:

$$h = Q / (V \cdot B) \quad y$$

$$L = (h / v) (V)$$

donde

L = Largo de la cámara, en m

v = Velocidad de sedimentación de la arena, en m/s (utilizar la tabla 4.3)

La práctica común indica que todas las partículas de 0.2mm de diámetro o mayores, con una gravedad específica de 2.65 le da una protección adecuada al equipo.

Para su remoción es necesario proporcionar suficiente tiempo de retención para que las partículas se asienten desde la superficie hasta el fondo del tanque.

La Tabla 4.3 muestra la velocidad de sedimentación, para una partícula que tenga la densidad y diámetro marcado anteriormente.

Tabla 4.3
Velocidad de sedimentación contra temperatura.
(partícula de 0.2 mm con una gravedad específica de 2.65)

Temperatura °C	Velocidad cm/s
0	1.4
10	2.1
20	2.7
30	3.2

Dedido a los efectos de turbulencia y las alteraciones de entrada y salida, la longitud del canal deberá incrementarse un 40 % sobre el valor teórico obtenido con las fórmulas anteriores.

$$L' = 1.4L$$

$$V_o = B \cdot h \cdot L$$

donde

$$V_o = \text{Volumen de la cámara, en m}^3$$

$$Pr = V_o / Q$$

donde

Pr = Período de retención, en min.

Con el siguiente ejemplo ilustraremos la aplicación de las fórmulas para el diseño de cámaras desarenadoras.

Diseñar un desarenador tipo canal de flujo horizontal con dos canales de 40 l/s cada uno , una velocidad de 25 cm/s considerar una temperatura de 10 °C y partículas de 2.65 de gravedad específica.

Solución:

Area de la sección transversal

$$A = Q/V = 0.040 / 0.25 = 0.16 \text{ m}^2$$

$$A = bh$$

si proponemos $b = 60 \text{ cm}$.

$$h = 0.16 / 0.60 = 0.27 \text{ m}$$

La longitud necesaria de la cámara será:

$$L = hV/V_s = 0.27 \cdot 0.25 / 0.021 = 3.21 \text{ m}$$

Aplicando el factor de seguridad del 40%

$$L' = 3.21 \cdot 1.40 = 4.50 \text{ m}$$

El volumen del desarenador será:

$$V_o = L' \cdot h \cdot b = 4.50 \cdot 0.27 \cdot 0.60 = 0.729 \text{ m}^3$$

El tiempo de retención será:

$$Tr = Vo/Q = 0.729 / 0.040 = 18 \text{ seg}$$

Area de superficie

$$As = Lb = 4.50 * .60 = 2.7 \text{ m}^2$$

La carga de superficie será :

$$Cs = Q/As = 0.040 / 2.7 = 0.015 \text{ m/s}$$

Por lo tanto seran desarenadores de :

$$L = 4.50 \text{ m}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

la altura del tanque considerando 10 cm por asentamiento de arenas y 13 cm de bordo libre será:

$$h = 0.27 + 0.10 + 0.13 = 0.50 \text{ m}$$

4.5 Tanques de preaereación

La aereación del agua residual antes del tratamiento primario tiene una serie de ventajas:

- Se mejora la separación de las grasas
- Se induce un cierto grado de floculación y se mantiene los sólidos en suspensión uniforme
- Se usa también para la eliminación de arenas
- Se obtiene una mayor eliminación de sólidos suspendidos, en los tanques de sedimentación
- Refresca las aguas sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento
- Disminuye la DBO.

La preaeración suele realizarse aumentando el tamaño de los desarenadores hasta dar lugar a un tiempo de retención del orden de 30 min. Los caudales de aire oscilan entre 0.01 y 0.05 m³ de aire por m³ de agua residual.

La profundidad de estos tanques es del orden de 70 al 100% de la anchura y oscila entre 3 y 5 m.

Las dimensiones de la sección transversal de los tanques de preaeración son del mismo orden de los desarenadores aireados.

La velocidad del agua se mantiene superior a la de asentamiento de las partículas orgánicas (5.6 cm/s) e inferior a la de las inorgánicas (23 cm /s).

Con el régimen de flujo en espiral, todos los sólidos son arrastrados al fondo del tanque, en donde los de naturaleza orgánica son arrastrados y puestos de nuevo en suspensión, mientras que los inorgánicos quedan depositados.

4.6 Cárcamos de bombeo

La estación principal de bombeo de una planta de tratamiento de aguas negras recibe toda el agua residual de la red municipal y se eleva a una altura suficiente que permita que el agua residual fluya por gravedad a través de todos los procesos de tratamiento; cuando las condiciones del terreno donde está situada la planta de tratamiento con respecto a las de la red de aguas negras permitan que el agua residual fluya a los procesos de tratamiento, la estación de bombeo no será necesaria.

Las partes esenciales de una estación de bombeo son:

- Equipo de bombeo
- Pozo de admisión o pozo húmedo
- Cámara de bombeo o pozo seco, y
- Unidad de fuerza motriz.

La figura 4.5 nos ilustra las partes esenciales de una estación de bombeo.

Para hacer una elección apropiada del equipo de bombeo y el diseño correcto del pozo húmedo o de admisión de las aguas negras, se deberá conocer el caudal máximo, promedio y mínimo diario, así como hacer estimaciones de caudales futuros.

Un equipo de bombeo debe tener por lo menos dos bombas, ya que una descompostura en el equipo de bombeo significa que es preciso desviar las aguas negras, sirviendo una de ellas como reserva.

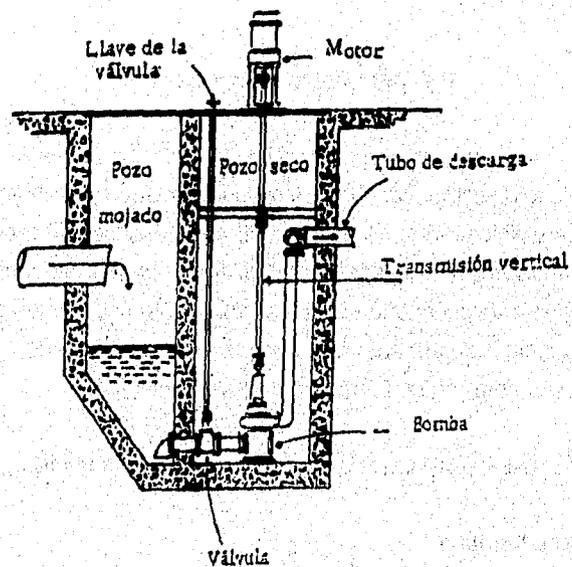


Figura 4.5 Partes esenciales de una estación de bombeo.

El tamaño y la forma del cárcamo de bombeo, está en función del caudal y de la capacidad del bombeo ya que deberán ser tales que permitan a las bombas funcionar el mayor tiempo sin que haya acumulación de sedimentos que puedan hacerse sépticos. El cárcamo debe estar dividido en dos o más secciones, para facilitar la limpieza y reparación.

El cárcamo debe dimensionarse para proporcionar que una bomba individual pueda pararse por lo menos durante 5 minutos para permitir que el motor se enfríe.

El tiempo que las bombas deben trabajar debe ser aproximadamente 15 minutos. Para prevenir las condiciones sépticas, el cárcamo debe ser lo suficientemente pequeño y el tiempo de retención no debe exceder de 20 minutos.

Para su diseño utilizaremos las siguientes fórmulas:

$$V_c = (0.5 T_s * Q) / (N_b + 1)$$

$$A = V_c / h = h * w^2$$

$$w = (A / h)^{1/2}$$

$$L = 2w, \text{ generalmente}$$

donde:

V_c = Volumen del cárcamo, en m^3

T_s = Tiempo entre dos arranques sucesivos, en seg.

Q = Gasto máximo, en m^3/s

N_b = Número de bombas

A = Area del cárcamo, en m^2

h = Profundidad del cárcamo, en m

w = Ancho del cárcamo, en m

L = Largo del cárcamo, en m

Con el siguiente ejemplo ilustraremos la aplicación de las fórmulas para el diseño de un cárcamo de bombeo:

Diseñar un cárcamo de bombeo, que tendrá tres bombas y recibirá un gasto de 254 l/s, el tiempo entre dos arranques sucesivos es de 20 min.

Solución:

$$Q = 254 \text{ l/s} = 0.254 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$N_b = 3$$

$$T_s = 20 \text{ min} = 1200 \text{ seg}$$

Volumen del cárcamo:

$$V_c = (0.5 * 1200 * 0.254) / (3 + 1) = 38.1 \text{ m}^3$$

Si la profundidad se considera de 2m, el área será:

$$A = 38.1 / 2 = 19 \text{ m}^2$$

Ancho del cárcamo:

$$w = (19 / 2)^{1/2} = 3.1 \text{ m}$$

La longitud del cárcamo si $L = 2w$ será:

$$L = 2 \cdot 3.1 = 6.2 \text{ m}$$

Por lo tanto el carcamo tendrá las siguientes dimensiones:

Ancho = 3.1 m

Longitud = 6.2 m

Profundidad = 2 m'

Por último se diseñará un vertedor proporcional haciendo uso de las siguientes fórmulas:

$$b = \frac{Q}{2c \sqrt{2ga} \left(h + \frac{2}{3} a\right)} \quad \text{--- (1)}$$

$$X = b \left(1 - \frac{2}{\pi} \text{Tang}^{-1} (y/a)^{0.5}\right) \quad \text{--- (2)}$$

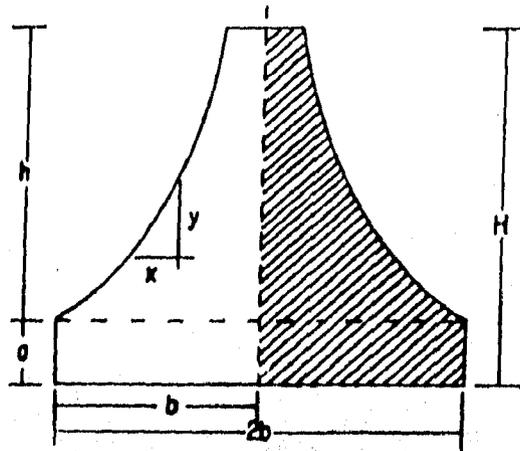
Gasto para diferentes alturas

$$Q = 2bc (2ga)^{0.5} \left(h + \frac{2}{3} a\right) \quad \text{--- (3)}$$

Gasto para la sección rectangular

$$Q' = \frac{2}{3} bc \sqrt{2g} \left[(h+a)^{3/2} - h^{3/2} \right] \quad \text{--- (4)}$$

El siguiente esquema nos muestra los parámetros de un vertedor proporcional.



c , es un coeficiente usado para el tipo de vertedor, generalmente varía de 0.60 a 0.63.

Con el siguiente ejemplo mostraremos el empleo de las fórmulas para el diseño de un vertedor proporcional (sutro).

Con los siguientes datos diseñar un vertedor sutro:

- a) Definir y determinar $Q_{\text{máx}}$ y $H_{\text{máx}}$
- b) Calcular b
- c) Seleccionar b
- d) Calcular el perfil del vertedor.

Datos:

$$Q_{\text{máx}} = 7 \text{ l/s}$$

$$a = 0.0254 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 H &= 0.13 \text{ m} \\
 h &= 0.1046 \text{ m} \\
 c &= 0.615
 \end{aligned}$$

Solución:

Con la ecuación (1) calculamos b:

$$b = \frac{0.007}{2(0.615) [2(9.81)(0.0254)]^{0.5} (0.1046 + \frac{2}{3} (0.0254))}$$

$$b = 0.06633 ; 2b = 13.27 \text{ cm.}$$

Calculamos "X" en radianes con la ecuación (2)

$$X = 0.0633 \left(1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} (y / 0.0254)^{0.5} \right)$$

Daremos valores a "y" para obtener "x" asimismo
 igualaremos $y = h$ para obtener los gastos
 proporcionales a la carga empleando la fórmula (3)

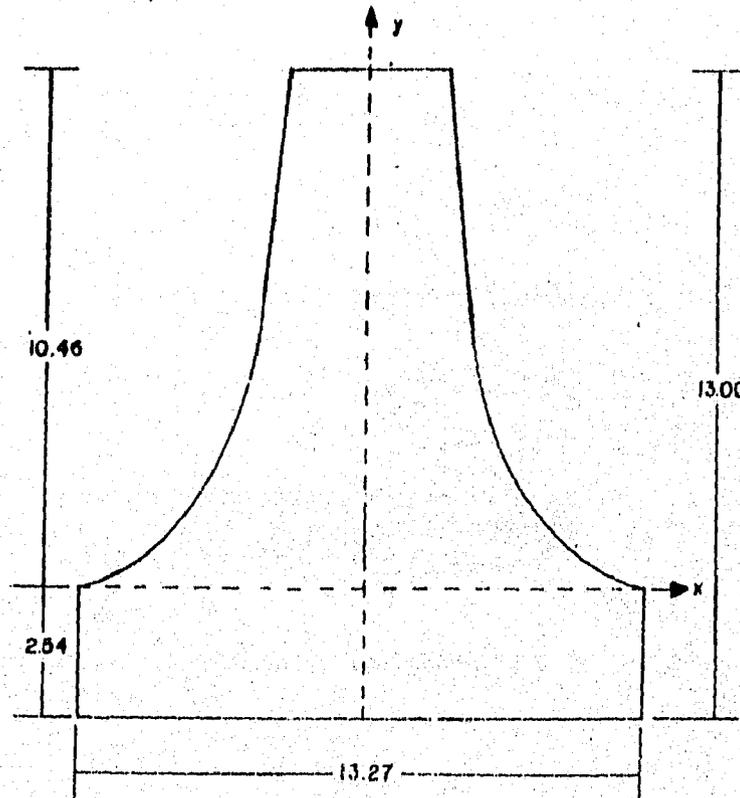
$$Q = 2(0.06633)(0.615) (2(9.81)(0.0254))^{0.5} (h + \frac{2}{3} 0.0254)$$

En la tabla 4.4 presentaremos los valores obtenidos:

Tabla 4.4

y	x	Q
cm	cm	l/s
2	3.57	2.13
4	2.84	3.28
6	2.43	4.43
8	2.16	5.58
10	1.97	6.75
10.46	1.93	7.00

La siguiente es la gráfica obtenida de los valores de "x" y "y", que muestran el perfil del vertedor.



CAPITULO 5

Tratamiento primario

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno diseñará funcionalmente y en forma preliminar una unidad de proceso de tratamiento primario.

CAPITULO 5

TRATAMIENTO PRIMARIO

5.1 Tanques de sedimentación simple

El tratamiento primario es el primer proceso intensivo (y a veces único) en una planta de tratamiento de aguas negras, y consiste en una sedimentación. En éste nivel de tratamiento se elimina de un 40 a 60% de materia suspendida por medios naturales y se incrementa hasta un 80 o 90% con el uso de productos químicos.

Los dispositivos que se usan en este tratamiento, estan diseñados para retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación, esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo. La figura 5.1 nos presenta un esquema los dispositivos del tratamiento primario.

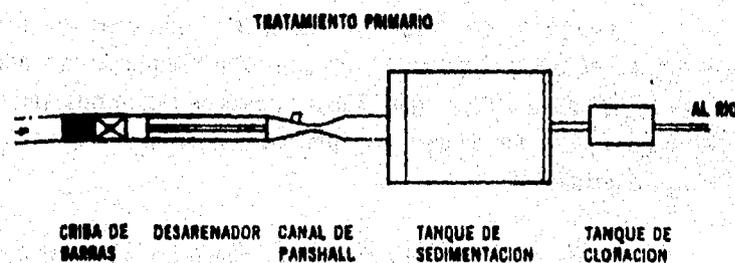


Fig.5.1 Tratamiento primario

Los principales dispositivos para el tratamiento primario son los tanques de sedimentación, algunos de los cuales sirven también para la descomposición de lodos.

Tanques de sedimentación simple: La función principal de este dispositivo es separar los sólidos sedimentables de las aguas mediante el proceso de sedimentación.

Los sólidos asentables se sustraen continuamente o a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases.

Estos dispositivos pueden limpiarse a mano o mecánicamente.

Tanques de sedimentación simple con limpieza mecánica: Son dispositivos que pueden extraer el lodo de un modo continuo del fondo de los tanques, ya que estos colectan los sólidos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empuja hacia el sitio de descarga. Estos tanques no tienen que dejar de funcionar para ser limpiados y al proyectarlos no hay que prever la acumulación de lodo, y pueden ser rectangulares, cuadrados o circulares; pero todos operan con el mismo principio.

Tanques de limpieza manual: Son dispositivos que acumulan los sólidos por gravedad, en una tolva o embudo, de donde después se bombean o descargan. Estos dispositivos tienen que dejar de funcionar para poder ser limpiados, y también pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados.

La figura 5.2 nos presenta un tanque rectangular con fondo inclinado.

Los tanques de sedimentación se diseñan, normalmente, en base a la carga de superficie para el caudal medio, que como se definió en el capítulo anterior, está expresada en metros cúbicos por día y por metro cuadrado de área horizontal. La elección de la carga idónea depende del tipo de suspensión que haya que separarse.

La elección del tipo de tanque para una aplicación dada depende del tamaño de la instalación de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno, de la experiencia y juicio del proyectista y de la estimación de los costos.

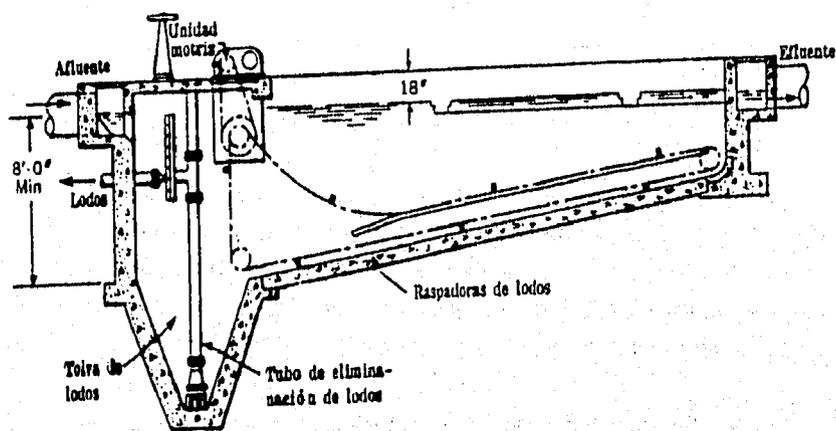


Fig. 5.2 Tanque rectangular con fondo inclinado

Diseño de Tanques de Sedimentación:

La principal fuerza que hacen que las sustancias del agua se sedimenten es la gravedad, como se vió en el capítulo anterior en cuanto a la sedimentación de la partícula por la ley de Stokes o la ley de Newton y existe una gran variedad de condiciones que se registran durante el funcionamiento de los tanques de sedimentación, entre estas condiciones figuran:

- Tamaño de las partículas
- El peso específico de las partículas en sedimentación
- La concentración de materiales en suspensión

- La temperatura
- El periodo de retención
- La profundidad, la forma, las características y el funcionamiento de la cámara.
- La velocidad y longitud del escurrimiento a través del tanque
- La acción del viento sobre la superficie del líquido en el tanque
- Las fuerzas biológicas, eléctricas y de otros tipos.

Las condiciones reguladoras son, en general, las siguientes

Tiempo de retención: de 1 a 3 horas, se usa el periodo más largo cuando no va a haber tratamiento posterior y se desea la mayor eficacia, pero hay que tener en cuenta que un periodo demasiado largo puede inducir la septización. Los periodos más cortos solo deben usarse cuando se tengan que eliminar sólidos gruesos.

La profundidad no debe ser mayor de 3 m, con exclusión del espacio de acumulación. Los tanques con limpieza mecánica pueden ser tan poco profundos como resulte práctico, pero no menores de 2.1 m.

La velocidad de escurrimiento es aproximadamente 0.30 m por minuto, en tanques de gran tamaño se han usado velocidades de 1.5 m por minuto.

La carga por metro cuadrado de área superficial de la cámara de sedimentación, puede variar entre 31.9 y 322.8 m³ por día, para sólidos granulares; de 32.3 a 406.5, para sólidos de aguas negras; y 40.6 a 48.8, para materiales floculantes.

Las dimensiones de un tanque que sea rectangular en planta y en sección deben calcularse teniendo en cuenta las siguientes limitaciones: la relación entre la anchura y la longitud deben ser tan pequeñas como sea posible y no mayor de 1:5 a 1:4, con una anchura máxima de 6 a 7.5m

Para tanques con limpieza manual se debe proporcionar una profundidad adicional de 1.20 m que sirva para almacenar los sedimentos.

En los proyectos de cámaras de sedimentación se supone que la velocidad del escurrimiento a través de la cámara es:

$$V = Q/A$$

y el tiempo de retención será:

$$Tr = Vo/Q$$

donde:

V = Velocidad de escurrimiento

Q = gasto

A = Area transversal

Tr = tiempo de retención

Vo = Volumen del tanque

Las fórmulas para el diseño de un tanque de sedimentación primaria rectangular son las siguientes:

$$Q = VA$$

Q = gasto m^3/s

V = Velocidad de escurrimiento a través del tanque m/s

A = Area transversal del tanque m^2 .

$$As = Q/Cs ; Lb = As$$

As = Area de superficie, m^2

Cs = Carga de superficie, m^3/m^2 día

L = Longitud del tanque, m

b = Base del tanque, m

$V_o = Lbh$; $V_o = Ash$
 $V_o =$ Volumen del tanque, m^3
 $h =$ altura del tanque, m

$Tr = V_o/Q$
 $Tr =$ Tiempo de retención

$L = Tr \cdot V_s$
 $V_s =$ Velocidad de sedimentación de las partículas, m/s

Con el siguiente ejemplo ilustraremos la aplicación de las fórmulas.

Diseñar un tanque de sedimentación rectangular con limpieza mecánica, que debe tratar $4320 m^3/día$ de aguas negras. Con una carga de superficie de $34 m^3/m^2 día$ y una velocidad de asentamiento de las partículas de $0.2 m/min$.

Solución:

$Q = 4320 m^3/día$
 $C_s = 34 m^3/m^2 día$
 $V_s = 0.2 m/min$

Area de superficie
 $A_s = Q/C_s = 4320/34 = 127 m^2$

Si $h = 3 m$, el tiempo de retención es:
 $Tr = A_s \cdot h / Q = (127 \cdot 3) / 4320 = 0.088 día = 2.1 hr = 126 min$

La longitud del tanque es:
 $L = 126 \cdot 0.2 = 25 m$

$$\text{Si } Lb = As = 127 \text{ m}^2$$

Despejando b

$$b = As/L = 127/25 = 5 \text{ m}$$

Por lo tanto sera un tanque de:

$$L = 25 \text{ m}$$

$$b = 5 \text{ m}$$

$$Tr = 126 \text{ min}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

Tanques circulares: El diámetro de un tanque circular depende del volumen de vertido, del volumen necesario y de la profundidad. Generalmente el fondo del tanque tiene forma de cono con una pendiente de 1 plg. (2.54 cm) en 1 ft (30.48 cm) horizontal. Tomando como base estas condiciones, el volumen se encuentra mediante la fórmula:

$$Vo = d^2 (0.011d + 0.785h)$$

donde:

Vo = Volumen del tanque circular, en m^3

d = Diámetro del tanque, en m

h = Profundidad vertical en el muro, o profundidad del lado del agua, en m.

La figura 5.3 nos muestra el esquema de un tanque circular de sedimentación simple.

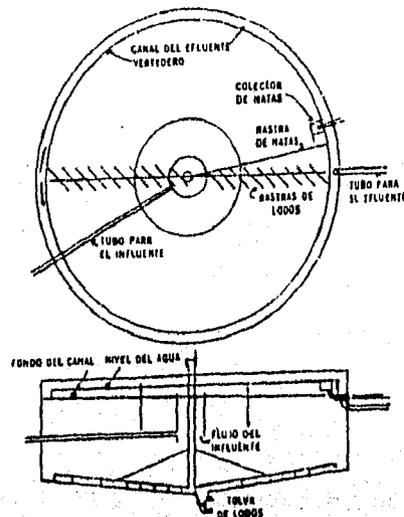


Fig.5.3 Tanque circular de sedimentación simple

Los tanques circulares llegan a tener un diámetro hasta de 61m, por lo general se mantienen a un máximo de 30.5 m o pueden oscilar de 25 a 45 m con objeto de reducir los efectos del viento. Los tanques cuadrados son generalmente más pequeños, es en ellos una longitud lateral de 21 m.

Las entradas en este tipo de tanques se realizan normalmente por la parte central, donde existe un deflector que fuerza el agua a seguir un camino hacia abajo, para continuar su trayectoria hacia la periferia.

Las proporciones de los tanques vienen dictadas por el caudal a tratar, y las profundidades en el muro perimetral oscilan entre 2 y 4m.

Las fórmulas empleadas para el diseño de un tanque circular son las siguientes en donde algunos términos ya fueron descritos anteriormente.

Area de superficie

$$A_s = Q/C_s = \pi d^2/4$$

d = Diámetro del tanque, m

$$V_o = A s h$$

$$d = \sqrt{4 A s / \pi}$$

$$T_r = V_o / Q$$

El siguiente ejemplo ilustrará la utilización de las fórmulas.

Diseñar un tanque de sedimentación circular que deberá tratar 3024 m³/día y tendrá una capacidad de sedimentación superficial de 16 m³/m²día. Considerando una profundidad de 2.5 m. calcular el periodo de retención y el diámetro del tanque.

Solución:

$$Q = 3024 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$C_s = 16 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$$

Area:

$$A = Q / C_s = 3024 / 16 = 189 \text{ m}^2$$

$$\text{si } h = 2.5 \text{ m}$$

Volumen:

$$V_o = 189 * 2.5 = 473 \text{ m}^3$$

Periodo de retención

$$P_r = 473 / 3024 = 0.156 * 24 = 3.75 \text{ hr}$$

Diámetro:

$$d = \left(\frac{4 \cdot 189}{\pi} \right)^{1/2} = 15.5 \text{ m}$$

$$V_0 = 15.5^2(0.011(15.50) + 0.785(2.5)) = 513 \text{ m}^3 \text{ aceptable}$$

Por lo tanto:

tanque circular

$$d = 15.5 \text{ m}$$

$$h = 2.5 \text{ m}$$

$$Pr = 3.75 \text{ hr}$$

Tanques cuadrados: Estos tanques pueden ser usados en aquellos casos en la que la disponibilidad del terreno sea limitada. Los equipos de estos tanques son similares a los empleados en los circulares, excepto que se incorpora un dispositivo especial como lo muestra la figura 5.4 para barrer las esquinas.

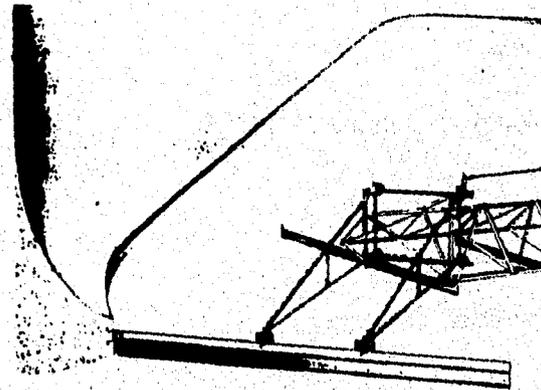


Fig.5.4 Mecanismo rascador de esquinas

Con el fin de un rendimiento adecuado de los tanques es preciso realizar un buen diseño de los sistemas de entrada y salida del agua.

La entrada ideal debe reducir la velocidad para evitar corrientes preferenciales hacia la zona de salida, de distribuir el agua lo más uniformemente posible, a lo ancho y en profundidad del tanque, y mezclarla con el agua existente en éste con el fin de evitar las corrientes de densidad. La figura 5.5 muestra un dispositivo de entrada al tanque de sedimentación.

Las salidas consisten, en unos vertedores de caída libre que descargue sobre unos canales de recogida como los de la figura 5.6.

La carga sobre los vertederos está limitada para evitar que existan velocidades de aproximación elevadas.

Las salidas deben colocarse lo más alejado posible de las entradas, es decir en el extremo opuesto.

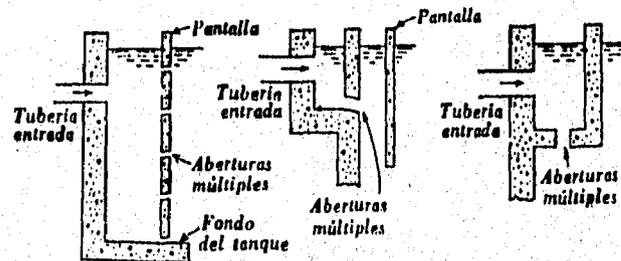


Fig. 5.5 Tres tipos de entrada para tanques de sedimentación

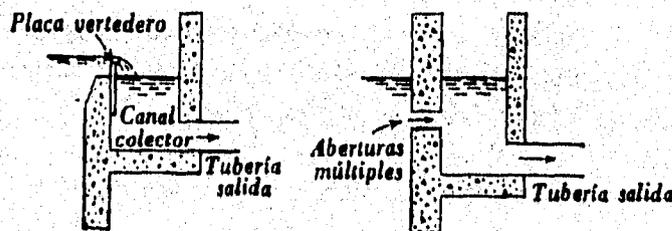
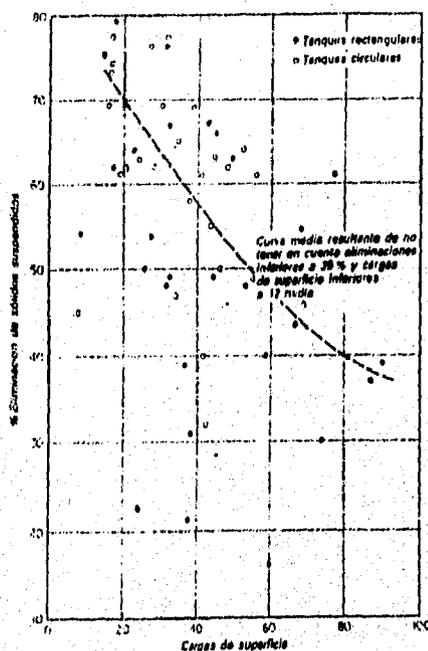


Fig.5.6 Detalles de salida de tanques de sedimentación

Cantidad de sólidos: La cantidad de lodo producido en un tanque de sedimentación es función directa de su eficiencia.

Por medio de la siguiente gráfica puede hacerse una estimación de la eliminación de los sólidos suspendidos en función de la carga de superficie. En general se pueden esperar eliminaciones de sólidos suspendidos del orden de de 50 a 60 %.



* Eliminación de sólidos suspendidos en clarificadores primarios.

Por ejemplo si un agua residual contiene 250 mg/l de sólidos suspendidos (SS), y se van a tratar 18 000 m³/día, y considerando un 50 % de eficiencia la cantidad de fango producido será:

$$0.5 * 18\ 000 * 250 = 2250\ \text{kg de sólidos por día.}$$

Por otro lado la humedad de los fangos primarios varía de 93 a 98 % siendo el valor promedio de 95 %.

Así la masa total de fango sería:

$$2250 / (100-95)\% = 45\ 000\ \text{kg/día}$$

Tanques aireados: Estos tanques son abiertos y se construyen de concreto. Son de forma rectangular. El volumen total del tanque se puede dividir entre dos o más unidades capaces de funcionar independientemente si la capacidad total excede de 140 m³.

Si el sistema de aireación del tanque es con difusores, las dimensiones de aquél pueden afectar notoriamente la eficiencia de la aireación, así como el grado de mezcla obtenido. La profundidad dentro del tanque será de 3 a 5 m manera que los difusores puedan funcionar eficazmente, y se prevee un reguardo de 0.3 a 0.60 m de bordo libre. La relación de anchura profundidad en estos tanques varía de 1:1 y 2:1.

Tanques Imhoff: Estos dispositivos llevan a cabo en un mismo tanque la separación de sólidos y su digestión. Las versiones modernas del proceso emplean mezclado y calentamiento en la zona de digestión, pero no está claro que presenten ventajas sobre los sistemas en que ambas operaciones se realizan de forma independiente.

Los tanque Imhoff fueron muy utilizados en el pasado, especialmente en plantas pequeñas de tratamiento primario. En los últimos años muchas instalaciones antiguas han sido utilizadas para otros usos.

Fosas Sépticas: Se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales. En zonas rurales, también se emplean en las escuelas, parques, zonas para caravanas y moteles. A menudo se usan fosas de una sola cámara, el tipo adecuado consiste en dos o más cámaras en serie.

En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimiento se usa para la sedimentación, digestión y almacenamiento del fango. El

segundo compartimiento proporciona sedimentación y capacidad de almacenamiento de fango adicional y, por tanto, sirve para proteger contra la descarga de fango u otro material que pueda escaparse de la primera cámara.

Es esencial disponer de la adecuada capacidad de almacenamiento, de forma que el fango depositado puede permanecer en el tanque durante un tiempo suficientemente largo para que se produzca su descomposición y digestión antes de ser extraído. Por lo general, el fango deberá extraerse cada dos o tres años.

5.2 Tratamiento químico

Este tratamiento suele considerarse como intermedio, por los resultados que se obtienen con él, y son mejores que los del tratamiento primario común, para la eliminación de los sólidos por sedimentación.

Este tratamiento consiste en agregar uno o más reactivos a las aguas negras para producir un floculo, que es un compuesto químico insoluble que absorbe la materia coloidal, envolviendo a los sólidos suspendidos no sedimentables para que se depositen más rápido.

Las sustancias químicas hacen que la materia coloidal se aglomere y forme grumos fácilmente sedimentables.

Los reactivos que más se emplean son: Sulfato de aluminio o alumbre, sulfato ferroso con cal, sulfato férrico y cloruro férrico con o sin cal.

En la Tabla 5.1 se presentan las características de los coagulantes químicos.

Para indicar las cantidades de productos químicos que se deba aplicar al agua o a las aguas negras, se utilizan los miligramos por litro mg/l o partes por millón ppm ya que un litro de agua es igual a 1×10^6 miligramos por lo tanto $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l}$.

Existen dispositivos para aplicar los productos químicos, en forma de gas, como líquido, en forma de papilla, en solución o como sólidos en seco, tanto a mano como en regulación automática.

En la figura 5.7 se muestra un dispositivo de tolva para aplicar productos químicos en seco, así como un alimentador simple.

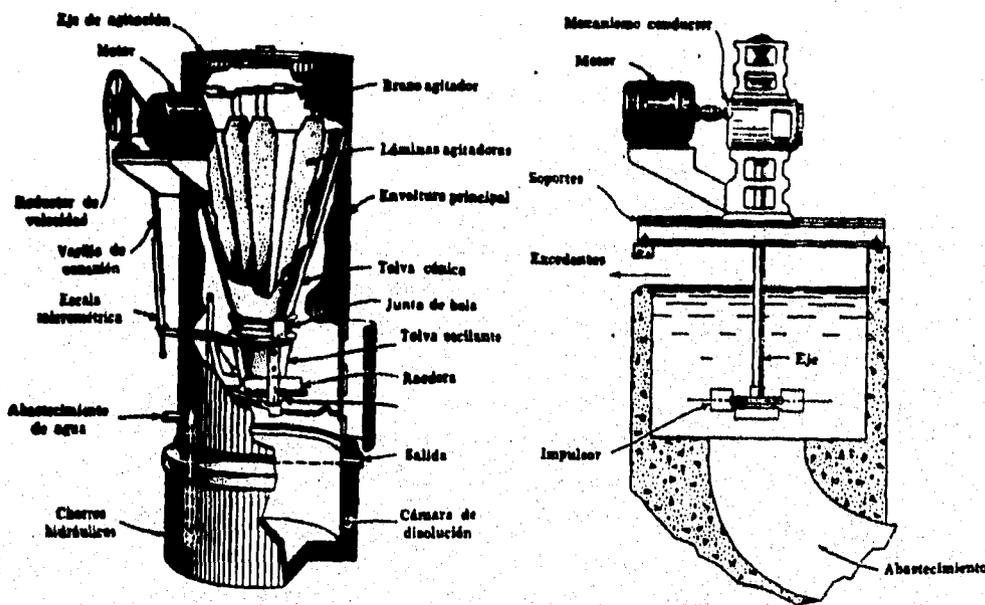


Fig. 5.7 Alimentador de productos químicos en seco y mezclador simple

Tabla 5.1

ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS COAGULANTES QUIMICOS

Producto químico	Observaciones
Cloruro férrico	<ul style="list-style-type: none"> a. Preferible para el acondicionamiento del lodo en el proceso de activación. b. Más económico para instalaciones que requieran más de 7 toneladas de hierro anualmente, con elementos para manejarlo. c. Disponible en forma anhidrida, sólida en terrones o en solución acuosa. d. Puede obtenerse en la localidad, a base de cloro y raspaduras de hierro o de acero. e. El floculo se forma satisfactoriamente a todas las temperaturas. f. Es adecuado para oxidar H_2S, con pH alto. g. Muy corrosivo y difícil de manejar. h. La solución tiene que almacenarse y manejarse con recipientes y tubos forrados de caucho. i. Util para combatir olores y corrosión, formando sulfuro de hierro con el H_2S y no siendo absorbido por la materia orgánica. Es más barato que el cloro para este fin. j. Coagula mejor con un pH menor de 7.0 óptimo en 5.5. k. Generalmente se considera como el mejor coagulante disponible. l. Tanto por ciento probable de eliminación de S.S* = 80 a 95; BOD = 80. m. Dosis con el pH óptimo = 0.526 a 0.860 g por litro.
Caparrosa clorada	<ul style="list-style-type: none"> a. Buena para el acondicionamiento del lodo en el proceso de activación. b. Económica para instalaciones que necesiten más de 7 toneladas de hierro anualmente, con elementos para su manejo. c. Mala con pH de 7.0; buena con pH de 5.5 o de 9.0 a 9.5, con dosis de 2.5 a 5.9 g por galón. d. Tanto por ciento de reducción de S.S = 80 a 90, y de BOD = 70 a 80.
Sulfato ferroso (caparrosa)	<ul style="list-style-type: none"> a. Un pH mayor de 7.7 favorece la oxidación a hidróxido férrico. b. El producto seco no es fácil de emplear, porque se atrona, pero se usa. c. Los tipos más baratos tienden a atronarse durante el almacenamiento.

- d. El costo inicial es relativamente bajo.
- e. Disponible en abundancia como producto residual de las fábricas de acero.
- f. pH óptimo, 9.0 aproximadamente, con dosis de 2.5 a 5.0 g por galón.
- g. Una dosis excesiva, produce una precipitación tardía no conveniente.
- h. Puede aplicarse en forma de solución.

Sulfato férrico

- a. Más eficaz que la caparrosa o la caparrosa con cloro, cuando se usa con cal.
- b. El mejor pH entre 8.0 y 8.5, con una dosis aproximada de 0.660 g por litro
- c. Tanto por ciento de reducción de S.S = 80 y de BOD = 60.
- d. Puede aplicarse en forma seca o líquida.

Alumbre

- a. No se usa todavía mucho en el tratamiento de aguas negras.
- b. Es económico y fácil de manejar.
- c. Puede usarse aplicándolo en seco.
- d. Margen del pH, de 6.0 a 8.5; preferible más de 7.0
- e. Dosis de 1.321 a 1.585 g por litro, con reducción por ciento de S.S = 80 y de BOD = 60.

Arcilla y otros

materiales inertes

Arcilla bentonita, arena,
fibra de asbesto,
papel, etc.

- a. No ensayados todavía en gran escala.
- b. Dosis de 100 p.p.m. en laboratorios han dado excelentes resultados.
- c. La bentonita floccula fácilmente en un amplio margen de pH con alcalinidad natural.
- d. Los materiales, aparte de la bentonita, no se han extendido en la práctica.

Cal:

CaO = viva

Ca(OH)₂ = hidratada

- a. Puede aplicarse en seco.
- b. No es corrosiva.
- c. Se usa comúnmente para elevar el pH.

d. La cal viva debe almacenarse en tanques de acero secos, y debe hidratarse (apagarse) antes de usarse. La cal hidratada seca se puede almacenar en cualquier lugar seco.

Carbonato sódico

- a. No corrosivo
- b. Puede aplicarse en seco.

Cloro

- a. Corrosivo y tóxico. Puede almacenarse en recipientes de hierro fundido, plomo, vidrio o caucho.
- b. Requiere un equipo especial de dosificación.
- c. Util en el combate de olores y corrosión del concreto y para combatir moscas y encharcamientos sobre los filtros.

Cloruro de aluminio

- a. pH óptimo de 5.5 a 9.0; gramos por galón con pH de 9.0 = 5, y con pH de 5.5 = 2.5 a 5.0.

*S.S = Sólidos sedimentables.

Con respecto a los dispositivos de mezclado, los principales son dos: los que utilizan equipo mecánico y los que utilizan desviadores, al rededor o abajo, de los cuales fluye el agua a velocidades controladas.

Mezcladores mecánicos: Pueden utilizarse dos etapas de mezclado: un mezclado rápido, durante un periodo corto, o un periodo de mezclado más largo utilizando paletas giratorias.

La capacidad de un depósito de mezclado rápido normalmente será igual al flujo en 2 o 3 minutos, y el impulsor trabajará a 100 o 120 rpm con una velocidad en su periferia de 0.25 a 0.38 m/s. El coagulante químico se añade en el fondo de la cámara de mezclado, abajo de las hojas del impulsor. La figura 5.8 nos presenta los dispositivos de mezcla rápida, floculación y sedimentación.



Fig. 5.8 Mezcla rápida floculación y sedimentación

El período de retención de la unidad de mezclado lento es normalmente de 40 min. Las paletas tienen una holgura respecto a la profundidad y a los lados de 15 a 30 cm, y la velocidad en la periferia es de 0.30 a 0.65 m/s. El tamaño de la cámara está basado en el periodo de retención deseado. La figura 5.9 nos presenta un floculador de paleta de tipo giratorio.

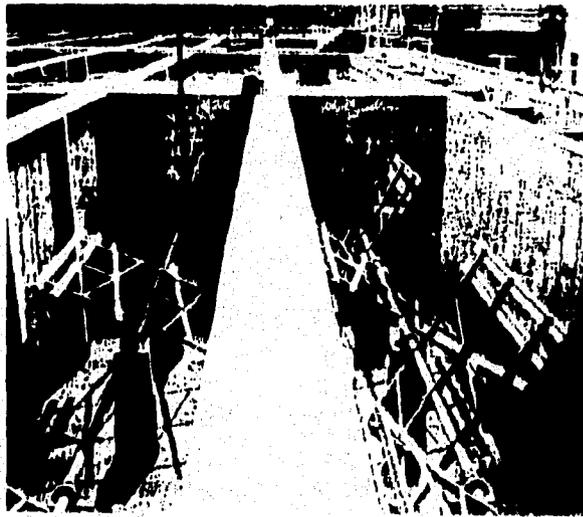


Fig. 5.9 Floculador de paleta del tipo giratorio

Mezclado con desviadores: Estos son como los mostrados en la figura 5.10. Los desviadores están espaciados y tienen un tamaño tal que imparten al agua que pasa alrededor de ellos una agitación suficiente para dar el mezclado necesario para formar los flóculos.

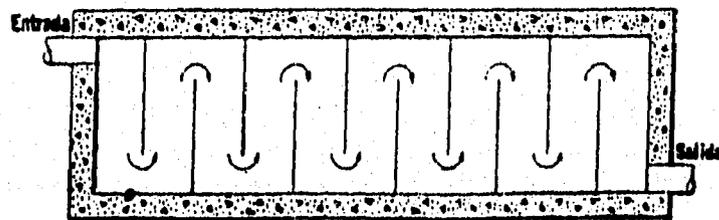


Fig. 5.10 Mezclado con desviadores por los extremos

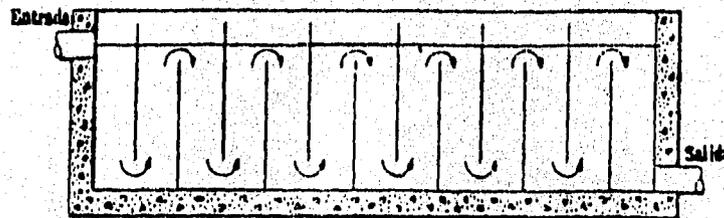


Fig. 5.11 Mezclado con desviadores por arriba y por abajo

La distancia entre los desviadores no debe ser menor de 45 cm. La velocidad de flujo en los canales entre desviadores debe ser entre 0.01 y 0.04 m/s. La retención en el tanque de mezclado puede variar entre 20 y 50 min. Estos factores determinan el área recta de flujo. La distancia libre entre el extremo de cada desviador y la pared es aproximadamente de

1.5 veces la distancia entre los desviadores, pero no debe ser menor de 60 cm.

La profundidad necesaria de un depósito con desviadores por los extremos, se obtiene dividiendo el área recta deseada de cada canal entre la distancia entre desviadores.

Con desviadores por arriba y por abajo, la anchura del depósito se obtiene dividiendo el área recta del canal entre el espaciamiento escogido para los desviadores. Es recomendable que la profundidad sea de 2 a 3 veces la distancia entre los desviadores. El espacio libre entre la orilla superior de un desviador y la superficie del agua o entre la orilla inferior de un desviador y el fondo del depósito debe ser de 1.5 veces la distancia entre desviadores.

Con el siguiente ejemplo ilustraremos el diseño de un tanque de mezclado con desviadores por los extremos.

Diseñar un tanque de mezclado con desviadores por los extremos que va tratar $11350 \text{ m}^3/\text{día}$. El tanque estará dividido en dos partes similares mediante un muro longitudinal de partición, de modo que cada mitad tiene una anchura libre de 3.0 m. Asimismo la distancia entre desviadores es de 45 cm, el periodo de mezclado es de 20 min; y la velocidad de flujo es de 0.24 m/s. Cuáles deben ser:

- a) La profundidad del tanque.
- b) El número de canales del mismo.
- c) La longitud interior total del tanque.

Solución:

a) Para un periodo de mezcla de 20 min y una velocidad de 24 cm/s. La distancia total necesaria a través de la cual debe fluir el agua es de :

$$L_f = P_m \cdot V_f = 20 \cdot 24 \cdot 60 = 288 \text{ m.}$$

El volumen de agua que se mezclará en cada periodo de 20 min. es:

$$V_a = Q \cdot P_m = 11350 \cdot 20 / 24 \cdot 60 = 157.64 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el área recta necesaria en un canal entre desviadores será:

$$A_r = V_a / L_f = 157.64 / 288 = 0.55 \text{ m}^2$$

Si la distancia entre desviadores es de 45 cm, la profundidad debe ser:

$$Prof = A_r / D_d = 0.55 / 0.45 = 1.22 \text{ m.}$$

b) La holgura en el extremo de cada desviador y el muro se puede tomar como:

$$h = 1.5 \cdot D_d = 1.5 \cdot 45 = 67.5 \text{ cm.}$$

La longitud efectiva de cada canal será:

$$L_c = H - h = 3 - 0.675 = 2.325 \text{ m}$$

El número de canales para proporcionar una longitud de flujo de 288 m es:

$$N_c = L_f / L_c = 288 / 2.325 = 124 \text{ canales.}$$

c) Se tendrán 62 canales en cada mitad del tanque y la longitud libre de éste, sin incluir los espesores de los desviadores, debe ser de:

$$L_i = D_d * N_c = 0.45 * 62 = 28 \text{ m}$$

Si se consideran 7 cm de espesor de cada desviador, la longitud interior total del tanque será:

$$L_t = L_i + (e * N_e) = 28 + (0.07 * 61) = 32.27 \text{ m.}$$

Por lo tanto cada tanque de mezclado con desviadores por los extremos de:

$$\text{Prof} = 1.22 \text{ m}$$

$$\text{Anchura libre} = 3.0 \text{ m}$$

$$\text{Longitud interior} = 32.27 \text{ m}$$

Con 62 desviadores de 7 cm de espesor.

CAPITULO 6

Tratamiento secundario

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno comprenderá el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento y diseñará funcionalmente y de manera preliminar una unidad de tratamiento secundario.

CAPITULO 6

TRATAMIENTO SECUNDARIO

6.1 Introducción a los procesos biológicos

El objetivo de los sistemas de tratamiento secundario es la eliminación de la materia orgánica y coloidal que queda después de un tratamiento primario. Aunque la eliminación de estos componentes puede realizarse por medio de tratamientos físico-químicos, la denominación de tratamiento secundario se aplica, generalmente a procesos de tratamiento biológico.

El Tratamiento biológico de las aguas residuales, es resultado de la aplicación coordinada de la ingeniería y la microbiología.

Los tratamientos biológicos, consisten en la aplicación controlada de procesos naturales, por los cuales los microorganismos eliminan la materia orgánica disuelta y coloidal del agua residual, al tiempo de que ellos mismos sufren un proceso de eliminación.

Para llevar a cabo éste proceso natural en un tiempo razonable, es preciso disponer de un gran número de microorganismos en un reactor de tamaño relativamente reducido. Los sistemas de tratamiento biológico se proyectan de manera que se cumpla esta condición.

Las técnicas empleadas para la aplicación de estos procesos biológicos, pueden clasificarse en forma general en dos tipos: Uno denominado **proceso en medio fijo** y otro llamado **proceso de medio en suspensión**.

6.2 Procesos en medio fijo

Procesos en medio fijo: Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, son principalmente bacterias, y están, sujetos a un medio fijo inerte tal como piedras, escorias y materiales cerámicos y plásticos, especialmente diseñados. Estos procesos también se conocen como procesos de película fija.

Los tratamientos aeróbicos de tratamiento de medio fijo se usan generalmente, para eliminar la materia orgánica que se encuentra en el agua residual. También se utilizan para llevar a cabo la nitrificación, que es la conversión del nitrógeno amoniacal a nitrato.

Los procesos de cultivo fijo incluyen:

Filtros percoladores

Reactores biológicos rotativos de contacto (Biodiscos)

Filtros de arena intermitente

Dado que el proceso de los filtro percoladores es el más comunmente utilizado, será tratado con mayor detalle.

Filtros percoladores: Utilizan un medio soporte de crecimiento bacteriano, de naturaleza relativamente porosa, tal como roca o elementos plásticos de formas específicas.

El desarrollo del cultivo bacteriano tiene lugar en la superficie del medio, mediante la aportación de oxígeno por el aire que circula por los huecos de aquél.

El agua residual se aplica en la superficie del filtro, generalmente en forma intermitente, y percola a través del mismo, formando una delgada película sobre el cultivo biológico adherido al medio durante su circulación.

Cuando se emplean piedras como filtro estas oscilan en tamaños de 2.5 a 10 cm de diámetro.

La profundidad de piedras varía en cada diseño particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m con un profundidad promedio de 1.8 m.

Existen filtro percoladores que utilizan medios filtrantes plásticos, que constituyen la innovación más reciente, con una profundidad de 9 a 12 m.

Los filtro percoladores se clasifican según su carga hidráulica u orgánica de trabajo en:

Filtros de carga baja: En estos filtros la carga orgánica de trabajo oscila entre 0.3 y 1.5 kg DBO₅/m³ de volumen de filtro por día, y la carga hidráulica entre 1.87 y 3.74 m³/día por metro cuadrado de superficie en planta del filtro.

Filtros de carga alta: Se practica la recirculación del afluente sobre el filtro y funciona a cargas de trabajo mayores, oscilando entre 1.5 y 18.7 kg DBO₅/m³ de volumen de filtro por día. La carga hidráulica incluyendo la recirculación, varía entre 9.36 y 28 m³/día por metro cuadrado de superficie en planta.

Los materiales usados para percolar deben ser basaltos, granitos, cuarcita o escoria y no contener arcilla ni arena.

El funcionamiento de los filtro percoladores no han podido ser descritos mediante una formulación matemática satisfactoria. Se han propuesto varios modelos matemáticos empíricos.

Puede afirmarse que las ecuaciones de Velz y NRC, pueden ser validas siempre y cuando el agua residual aplicada no esté excesivamente diluída. Estas ecuaciones hacen la suposición implícita de que el oxígeno es el factor limitante. Ha podido comprobarse de que el oxígeno es el factor limitante para aguas residuales que tengan una DBO soluble mayor que 40 mg/l, lo cual incluye a la mayoría de las aguas residuales.

La ecuación de NRC es la siguiente:

$$\frac{C_i - C_e}{C_i} = \frac{1}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{QC_i}{VF}}}$$

Donde:

Esta ecuación es aplicable a filtros de una sola fase o a la primera de las de dos.

C_i = DBO del agua de alimentación al filtro.

C_e = DBO del efluente en la primera fase

Q = Caudal de agua aplicada la filtro, en m^3/min

V = Volumen del filtro, en m^3 y

F = Factor de recirculación que viene dado por:

$$F = \frac{1 + r}{(1 + 0.1r)^2}$$

Donde:

r = la relación entre el caudal recircular y el agua a tratar

Para el filtro de segunda fase, la fórmula se transforma en:

$$\frac{C_e - C'e}{C_e} = \frac{1}{1 + \frac{0.532}{1 - [(C_i - C_e) / C_i]} \sqrt{\frac{QC_e}{VF'}}}$$

Donde:

$C'e$ = DBO del efluente en la segunda fase

V' = Volumen de la segunda fase

F' = Factor de recirculación en la segunda fase

El resto de los símbolos son definidos anteriormente

Con el siguiente ejemplo ilustraremos el empleo de las fórmulas para filtros percoladores.

Calcular la DBO del efluente en un sistema de filtros percoladores de dos fases, a partir de los siguientes valores de caudales, DBO₅ y dimensiones:

$Q = 3.15 \text{ m}^3/\text{min}$

DBO = 290 mg/l

Volumen del filtro # 1 = 830 m.

Volumen del filtro # 2 = 830 m

Profundidad del filtro = 2.0 m

Recirculación (filtro #1) = 125% de Q

Recirculación (filtro #2) = 100% de Q

Solución:

Obtener el factor de recirculación empleando la fórmula:

$$F = \frac{1 + 1.25}{(1 + 0.1(1.25))^2}$$

$$F = 1.78$$

Utilizando NRC; sustituyendo valores:

$$\frac{290 - C_e}{290} = \frac{1}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{(3.15)(290)}{(830)(1.78)}}$$

Despejando C_e , su valor es:

$$C_e = 85.5 \text{ mg/l}$$

Para la segunda fase:

El factor de recirculación para la segunda fase es:

$$F' = \frac{1 + r_2}{(1 + 0.1r_2)^2} = \frac{1 + 1}{(1 + 0.1(1))^2}$$

$$F' = 1.65$$

Utilizando NRC para la segunda fase:

$$\frac{85.5 - C'e}{85.5} = \frac{1}{1 + \frac{0.532}{1 - [(290 - 85.5) / 290]} \sqrt{\frac{3.15(85.5)}{830(1.65)}}$$

Despejando C'e su valor es:

$$C'e = 38 \text{ mg/l}$$

El valor de C'e no constituye un nivel satisfactorio de la calidad del efluente por lo que es preciso aumentar el volumen de los filtros o la recirculación.

La ecuación de Velz es la siguiente:

$$C_e = \left(\frac{C_i + rC_e}{1 + r} \right) e^{-kD}$$

Donde:

k = Coeficiente experimental igual a 0.49 para filtros de alta carga, y 0.57 para filtros de baja carga.

D = Profundidad del tanque en m

Siguiendo con el mismo ejemplo para la primera fase:

Utilizando la ecuación de Velz:

$$C_e = \left(\frac{290 + 1.25C_e}{1 + 1.25} \right) e^{-0.49(2)}$$

Despejando el valor de C_e su valor será:

$$C_e = 61 \text{ mg/l}$$

Para la segunda fase:

$$C'e = \left(\frac{61 + 1.0 C'e}{1 + 1.0} \right) e^{-0.57(2)}$$

$$C'e = 11.62 \text{ mg/l}$$

El dimensionamiento de sistemas de filtros percoladores se basa en la aplicación de fórmulas adecuadas, o en valores de cargas de trabajo establecidos arbitrariamente por organismos responsables.

La profundidad de los filtros con medio filtrante clásico de piedra o de piezas especiales de plástico es, normalmente de 2.0 m.

En las torres que contienen material plástico de tipo placas o de madera pueden llegar hasta 5 o más metros de profundidad.

Con el siguiente ejemplo ilustraremos el diseño de un filtro percolador:

Dimensionar un sistema de filtro percolador de una fase que proporcione un efluente con DBO₅ de 30 mg/l. La DBO₅ del agua residual sedimentada es 160 mg/l y el caudal es de 10,000 m³/día. Adoptar una carga hidráulica de 20 m/día y una profundidad de 2.0 m.

Solución:

Datos

$$C_i = 160 \text{ mg/l}$$

$$C_e = 30 \text{ mg/l}$$

$$Q = 10,000 \text{ m}^3/\text{día} = 6.24 \text{ m}^3/\text{min}$$

Aplicando la ecuación de NRC, para la primera fase:

$$\frac{160 - 30}{160} = \frac{1}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{6.24(160)}{VF}}}$$

Despejando VF que es la incógnita:

$$VF = 5901$$

Para una profundidad de 2.0 m el volumen es

$V = 2A$ y para la carga hidráulica A será:

$$A = \frac{10,000 (1+r)}{20} \quad (1)$$

$$VF = 5901$$

$$A = V/2 \quad \text{si} \quad V = 5901/F$$

Sustituyendo V, A será:

$$A = 5901/2F ; \text{ Y si } F = \frac{(1+r)}{(1+0.1r)^2}$$

Sustituyendo F, A
será:

$$A = 5901 \left(\frac{(1+0.1r)^2}{2(1+r)} \right) \quad (2)$$

Igualando (1) con (2) y despejando r

$$A = 5901 \left(\frac{(1+0.1r)^2}{2(1+r)} \right) = \frac{10,000 (1+r)}{20}$$

por lo tanto:

$$0.16r^2 + 0.34 \cdot 0.83 = 0$$

$r = 1.45$: sustituyendo este valor para obtener F

$$F = \frac{(+ 1.45)}{(1 + 0.1(1.45))^2}$$

$$F = 1.87$$

Y V será:

$$V = 5901 / 1.87$$

$$V = 3155 \text{ m}^3$$

A será:

$$A = V / 2 = 3152 / 2$$

$$A = 1575 \text{ m}^2$$

La profundidad se mantiene en 2.0 m

Con base en los resultados obtendremos C_e , que es la DBO del efluente en la primera fase:

$$\text{Si } VF = (3155) (1.87) = 5900$$

Entonces

$$\frac{160 - C_e}{160} = \frac{1}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{6.64(160)}{5900}}}$$

$$C_e = 30 \text{ mg/l}$$

Esto nos indica que los valores de V y F son correctos.

Por lo tanto se podrían utilizar dos filtros cada uno de $1576 / 2 = 788 \text{ m}^2$

por lo tanto el diámetro de los filtros será:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(788)}{\pi}}$$

$$D = 31.68 \text{ m}$$

En resumen serán dos filtros cada uno de:

$$\begin{aligned} A &= 788 \text{ m}^2 \\ V &= 1577.5 \text{ m}^3 \\ \text{prof.} &= 2 \text{ m} \\ D &= 31.68 \text{ m} \end{aligned}$$

Comprobando con la ecuación de Velz:

$$C_e = \left(\frac{160 + 1.87C_e}{1 + 1.87} \right) e^{-0.49(2)}$$

$$C_e = 27.7 \text{ mg/l}$$

El problema que presenta el funcionamiento de los filtros percoladores, están asociados al funcionamiento en tiempo de frío. La eficiencia de los filtro de alta carga se reduce en un 30% por cada 10°C de descenso de temperatura, la formación de hielo puede dar lugar a obstrucciones en zonas del filtro que resulten en sobre cargas para el resto del mismo.

El problema que presentan los filtros percoladores de baja carga son el desarrollo de las moscas, esto se puede atacar con la inundación del filtro durante 24 hr , o con el uso de insecticidas.

Filtros intermitentes de arena: Se utilizan en zonas rurales, su funcionamiento consiste en la aplicación intermitente de efluente de tratamiento primario sobre la superficie de arena. Los sólidos son retenidos en la arena, mientras que el cultivo bacteriano desarrollado sobre la superficie de los granos de ésta absorbe la materia orgánica disuelta y coloidal.

Durante las intermitencias existentes entre aplicaciones de agua, el aire penetra a través del medio y permite la oxidación biológica de la materia orgánica acumulada.

La arena utilizada tiene un tamaño entre 0.2 a 0.5 mm y un coeficiente de uniformidad de 2.5.

La profundidad del lecho oscila entre 46 y 76 cm, siendo los más profundos los que producen efluentes de mejor calidad.

La arena se coloca sobre una capa de grava de 6 a 5 mm de tamaño de 300 mm de espesor, bajo la cual se disponen tuberías perforadas, o drenes sin juntas para recoger el agua tratada.

Bioldiscos: Consiste en un tanque que contiene un elemento rotativo que procura un gran superficie para el desarrollo del crecimiento

biológico. El proceso funciona a caudal continuo, y el elemento rotativo se cubre con una película biológica similar a la que se crea en los filtros percoladores.

La película está alternativamente, sumergida en el agua residual contenida en el tanque, la cual cubre algo menos que la mitad de la superficie disponible del elemento rotativo, esto permite que el aire, esté presente constantemente, al estar girando el biodisco.

Los biodiscos, normalmente están contruidos por discos generalmente del orden de 3.0 m de diámetro, 10 mm de espesor y situados a distancias de 30 y 40 mm a lo largo de un eje cuya longitud es variable. El eje gira a una velocidad de 1 a 2 rpm.

La mayor parte de la información para diseño es empírica y ha sido desarrollada por los fabricantes de estos sistemas.

6.3 Procesos en suspensión

Los procesos de cultivo en suspensión mantienen una masa biológica adecuada en suspensión en el reactor, por medio de un sistema de mezclado que puede ser manual o mecánico. En la mayor parte de los procesos, el volumen necesario, se reduce a base de reciclar microorganismos desde el clarificador secundario, para mantener una concentración elevada de sólidos.

Los procesos de cultivo en suspensión incluyen los lodos activados y sus varias modificaciones, estanques de estabilización y sistemas de digestión de fangos.

Lodos activados: Cuando las aguas residuales se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales

se desarrolla la vida biológica, pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que es lo que se conoce como lodos activados.

Los lodos activados son materia orgánica procedente de las aguas residuales, poblados de bacterias y otras formas de vida biológica.

Los lodos activados, con sus organismos con sus organismo vivos adsorben la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento el material adsorbido convirtiéndolos en sólidos insolubles no putrecibles, este proceso continúa hasta que los productos finales de desecho no pueden ser ya usados como alimentos por las bacterias.

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su periodo de contacto con las aguas negras a tratar, mediante algún método de agitación.

Existe una gran variedad de diferentes versiones del proceso de lodos activados, de donde se origina una versatilidad para adaptarse a un amplio rango de requerimientos del tratamiento; algunas de estas versiones son:

- Convensional
- Tanques de mezcla completa
- Aireación graduada
- Oxígeno puro
- Contacto y estabilización
- Aireación prolongada
- Canales de Oxidación
- Lagunas aireadas

Consisten en diferentes combinaciones de formas de operación, regímenes de mezcla, sistemas de aireación y niveles de carga.

El proceso de los lodos activados cuenta con las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados en las aguas negras que se van a tratar.
- 2) Aireación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de los lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

La figura 6.1 nos presenta las características esenciales del proceso de lodos activados.

El mezclado de las aguas negras con los lodos activados es muy importante y se logra mediante la difusión de aire, generalmente se aplican 0.5 a 0.7 kilos mediante sopladores, y se hacen pasar a través de diferentes tipos de material poroso, en placas o en tubos, que reparten el aire en forma de pequeñas burbujas; e imprimen un movimiento giratorio a la mezcla de aguas negras.

Existen aereadores mecánicos y son de dos tipos: de paleta y de tubo de tipo vertical.

La cantidad de aire requerida, debe ser suficiente para mantener las aguas negras con un mínimo de 2 ppm de OD bajo cualquier condición de carga de la DBO, en todas las partes de los tanques de aireación.

En los sistemas de aire difundido los requerimientos usuales de aire son de 62.3 m³/kg DBO. Esta cifra se aplica ordinariamente a las aguas negras domésticas de composición media.

El tiempo de aireación en un sistema de aire difundido varía de 6 a 8 hrs, y en un sistema de aireación mecánica varía de 9 a 12 hrs.

Indice de volumen de los lodos activados: Indica el porcentaje de la materia en suspensión en el licor mixto, en volumen dentro de límites de exactitud aceptables. Se obtiene dejando en reposo un litro de licor mixto durante 30 min y midiendo el volumen de los lodos sedimentados.

Se determina la concentración de peso seco de los sólidos en suspensión en el licor mixto. El índice volumétrico será, el volumen de los lodos sedimentados en porcentaje entre la concentración de peso seco de los sólidos en suspensión.

Este índice es útil en la operación como una indicación acerca del volumen de lodos que deben ser regresados para mantener el porcentaje deseado de sólidos en suspensión.

Edad de los lodos: Es el tiempo, medio en días, que una partícula de sólidos suspendidos está sujeta a la aireación en el tratamiento de aguas negras con lodos activados. Se calcula a partir del peso de los lodos activados en el tanque de aireación y de los sólidos suspendidos en las aguas negras que entran a dicho tanque, empleando la fórmula:

$$\theta = \frac{VA}{QC}$$

Donde:

V = Volumen del tanque de aireación, en m

A = Concentración de los sólidos suspendidos en el tanque de aireación en mg/l.

Q = Gasto de aguas negras en m³/día
C = Concentración de sólidos suspendidos en las aguas negras que entran en el tanque de aireación, en mg/l (incluyendo los lodos recirculados).

El uso de los distintos métodos usados en el proceso de lodos activados, tienen como objetivo eliminar la DBO y llevar a cabo la nitrificación.

A continuación veremos el **proceso de mezcla completa** con recirculación de sólidos que es aplicable a procesos de lodos activados.

La edad del fango para este sistema es:

$$\theta = \frac{xV}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e}$$

Donde:

Q = Caudal del agua residual
x = Concentración de sólidos suspendidos en el líquido mezcla (en el reactor) (SSLM).
X_r = Concentración de sólidos suspendidos en el caudal de recirculación.
X_e = Concentración de sólidos suspendidos en el efluente.
Q_w = Caudal de purga de fangos.
Q_r = Caudal de recirculación del fango.

La masa biológica total en el reactor se calcula con la fórmula:

$$xV = \frac{YQ (S_0 - S)\theta_c}{1 + K_d \theta_c}$$

Donde

$$x = \frac{\theta_c}{\theta} \cdot \frac{YQ (S_0 - S)}{1 + K_d \theta_c}$$

Y = Coeficiente de crecimiento que relaciona la producción de células con el sustrato metabolizado.

S₀ = DBO₅ del efluente.

S = DBO₅ soluble del efluente.

Ø = Tiempo de retención del líquido en el reactor, V / Q.

k_d = Coeficiente de desaparición de los organismos.

Cabe mencionar que Y y k_d son coeficientes cinéticos, que se calculan en laboratorio, usando reactores a escala, o sistemas a escala de plantas piloto.

Con el siguiente ejemplo ilustraremos el empleo de las fórmulas anteriores, para proyectar un proceso de lodos activados.

Proyectar un proceso de lodos activados que produzca un efluente en DBO₅ de 20 mg/l y sólidos suspendidos de 25 mg/l. La DBO₅ del agua residual sedimentada en el clarificador primario es de 160 mg/l. Suponer los siguientes valores: Y = 0.65, k_d = 0.05 y Ø_c = 10 días. El caudal de tratamiento es de 10 m³/min.

Considerar un 63% de la DBO₅ de los sólidos suspendidos.

Solución:

La DBO% del efluente será:

$$20 - 0.63(25) = 4.25 \text{ mg/l}$$

La masa biológica será:

$$xV = \frac{0.65(14.4 \times 10^6)(10)(160 - 4.25)}{1 + 0.05(10)} =$$

$$xV = 9.72 \text{ mg}$$

Suponiendo una concentración de sólidos
suspendidos volátiles en el líquido mezcla
SSVLM = x = 2500 mg/l

$$V = \frac{9.72 \times 10^9}{250} = 3.888 \times 10^6 \text{ l}$$

$$V = 3888 \text{ m}^3$$

La producción diaria de fangos se calcula como:

$$\frac{xV}{\theta_c} = \frac{9.72 \times 10^9}{10} = 9.72 \times 10^8 \text{ mg/día}$$

$$\frac{xV}{\theta_c} = 972 \text{ kg/día}$$

Suponiendo que el 80% de los sólidos sean volátiles, la producción total de sólido será:

$$972 / 0.8 = 1275 \text{ kg/día}$$

Suponiendo que la concentración de sólidos suspendidos en el caudal de recirculación sea de $X_r = 15\,000 \text{ mg/l}$

El caudal de purga de fangos será:

$$Q_w = \frac{1.215 \times 10^9}{15\,000} = 81\,000 \text{ l/día}$$

$$Q_w = 81 \text{ m}^3/\text{día}$$

El caudal de recirculación puede calcularse como

$$Q_w = \frac{Q_x}{X_r - x} = \frac{10(2500)}{15000 - 2500}$$

$$Q_w = 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

La relación entre el canal de recirculación y el caudal de agua a tratar será:

$$r = Q_r / Q = 2 / 10 = 0.2$$

El tiempo de retención hidráulica en el reactor será:

$$t = V / Q = 3888 / 10 = 388.8 \text{ min}$$

$$t = 6.48 \text{ hr.}$$

La cantidad de oxígeno que es necesario en los procesos de cultivo suspendido, es igual a la diferencia entre la DBO₅ última del agua residual que es eliminada y la DBO última de los sólidos que son purgados del sistema.

Para aguas residuales domésticas típicas, la cantidad de oxígeno necesario puede calcularse como:

$$\text{Necesidad de oxígeno} = 1.47(S_0 - S)Q - 1.14X_r(Q_w)$$

Por lo tanto:

$$N_o = 1.47(160 - 4.25)(14.4 \times 10^6) - 1.14(15 \times 10^3)(81000) =$$

$$N_o = 1.91 \times 10^6 \text{ mg/día}$$

$$N_o = 1912 \text{ kg/día}$$

El volumen de aire necesario para suministrar esta cantidad de oxígeno, en condiciones normales de presión y temperatura se puede calcular como:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{\text{demanda de } O_2}{0.278} = \frac{1912}{0.278} =$$

$$Q_{\text{aire}} = 6878 \text{ m}^3/\text{día}$$

Si la transferencia real de oxígeno es del 7%, el caudal de aire necesario será:

$$6878 / 0.07 = 98257 \text{ m}^3/\text{día} = 68.23 \text{ m}^3/\text{min}$$

el volumen necesario por unidad de DBO_5 eliminado se calcula como:

$$\frac{98257}{(160 - 4.25)(14.4)} = 43.81 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para el diseño del tanque de aireación nos basamos en este caso al tiempo de retención

$$V = t(Q + Q_r)$$

$$V = 388.8 \text{ min} (10 + 2) = 4666 \text{ m}^3$$

$$V = L \cdot A \cdot H$$

En la práctica la profundidad de los tanques varía de 3 a 5 m, los anchos son de 1 y media a 2 veces la profundidad.

El número de unidades deben ser por lo menos dos, y más si es posible.

Por lo tanto serán dos tanques de:

Ancho = 10 m

Prof. = 5 m

Longitud = 46.7 m

$$V = 10 \cdot 5 \cdot 46.7 = 2335 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 2335 (2) = 4670 \text{ m}^3$$

6.4 Tanques para la sedimentación secundaria

Un tanque de sedimentación secundaria es el que sigue a un filtro percolador, o un sistema de lodos activados.

El propósito de estos tanques es eliminar los sólidos suspendidos, que generan los filtros percoladores o un proceso de lodos activados.

El diseño de estos tanques es similar al de los tanques para el tratamiento primario.

El líquido saliente de los filtros contiene grandes cantidades de materia orgánica sedimentable, especialmente cuando el filtro está en un proceso de descarga.

Los tanques para la sedimentación final (secundaria) para filtros percoladores, son similares a los de sedimentación final de los lodos activados.

El periodo de detención debe ser del orden de una hora, en el caso de líquido procedente de filtros de baja carga, y de una hora y media, en el caso de líquido procedente de filtros de carga alta.

La cantidad de material que hay que eliminar es del orden de 14.5 a 26 l/ 1000 m³ de aguas tratadas.

El lodo recogido en los tanques de sedimentación, pueden llevarse a una cámara de digestión de lodos, pues generalmente no están en condiciones de poder llevarse a un terreno seco.

Por otro lado los tanques para la sedimentación de los lodos activados, son de limpieza mecánica.

Los tanques pueden ser rectangulares o circulares. La longitud de los rectangulares y el diámetro de los circulares normalmente no es superior a diez veces la profundidad.

La carga de los sólidos se expresa en kg SS/m² por hora y se relaciona con la carga de superficie por medio de:

$$\text{kg/m}^2 \text{ por hora} = \frac{\text{SSLM (mg/l)} \times \text{Carga de superficie (m/d)}}{24 \times 10^3}$$

La carga de sólidos normales varían entre 2.5 y 6.2 kg/m² por hora a caudales medio y máximo, respectivamente.

Con el siguiente ejemplo diseñaremos un tanque de sedimentación secundaria para un proceso de lodos activados.

Dimensionar un tanque de sedimentación secundaria para un proceso de lodos activados, con un caudal de recirculación del 30%, concentración de SSLM de 3,000 mg/l y un caudal máximo de 10,000 m³/día.

Solución:

La carga de sólidos es:

$$3000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot \frac{\text{día}}{24 \text{ hr}} (1.30) =$$
$$\boxed{= 1625 \text{ kg/hr}}$$

Para una carga a caudal máximo, de 6.2 kg/m² por hora la superficie del tanque es:

$$A = 1625 / 6.2 = 262 \text{ m}^2$$

y, la carga de superficie, basada en el caudal de tratamiento, es:

$$\text{Carga de superficie} = 10000 / 262 = 38 \text{ m / día}$$

Con una profundidad de 3.5 m, el volumen es:

$$V = 262 (3.5) = 917 \text{ m}^3$$

y el tiempo de retención será:

$$t = 917 / 10000 = 0.0917 \text{ días} = 2.2 \text{ hr}$$

Si el tanque es circular:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(262)}{\pi}} = 18.30 \text{ m}$$

La carga de sólidos es:

$$3000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} \cdot 10000 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot \frac{\text{día}}{24 \text{ hr}} (1.30) =$$

$$= 1625 \text{ kg/hr}$$

Para una carga a caudal máximo, de 6.2 kg/m^2 por hora la superficie del tanque es:

$$A = 1625 / 6.2 = 262 \text{ m}^2$$

y, la carga de superficie, basada en el caudal de tratamiento, es:

$$\text{Carga de superficie} = 10000 / 262 = 38 \text{ m / día}$$

Con una profundidad de 3.5 m, el volumen es:

$$V = 262 (3.5) = 917 \text{ m}^3$$

y el tiempo de retención será:

$$t = 917 / 10000 = 0.0917 \text{ días} = 2.2 \text{ hr}$$

Si el tanque es circular:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(262)}{\pi}} = 18.30 \text{ m}$$

Por lo tanto se usará un tanque circular de:

Prof. = 3.5 m

D = 18.30 m

t = 2.2 hr

CAPITULO 7

Desinfección de las aguas residuales

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno comprenderá la importancia de la desinfección del agua residual. Así mismo explicará los propósitos de la cloración del agua tratada, así como los riesgos en el manejo del cloro.

CAPITULO 7

DESINFECCION DE LAS AGUAS RESIDUALES

El objetivo de la desinfección, es eliminar los organismos patógenos causantes de diversas enfermedades.

La desinfección, es diferente a una esterilización, ya que ésta última destruye toda la vida bacteriana, incluso las esporas, mientras que la desinfección unicamente destruye a las bacterias patógenas.

7.1 Métodos de desinfección de las aguas residuales

El material usado en la desinfección, debe ser de preferencia uno que retenga su efecto durante un tiempo considerable, permitiendo así alguna protección en caso de una recontaminación. También el material desinfectante debe ser inofensivo e inobjetable para el consumidor, y debe ser de fácil medición en pruebas sencillas.

En el tratamiento de aguas negras, la desinfección suele realizarse mediante:

- Agentes químicos
- Agentes físicos
- Medios mecánicos
- Radiación

Agentes químicos: Un desinfectante químico ideal debe cumplir con los requisitos de la Tabla 7.1.

El desinfectante ideal no existe, pero hay que tener en cuenta la Tabla 7.1 para la elección del mejor.

Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son:

- Cloro y sus compuestos.
- Bromo
- Yodo
- Ozono
- Fenol y compuesto fenólicos.
- Alcoholes
- Metales pesados y compuestos afines
- Colorantes
- Jabones y detergentes sintéticos
- Compuestos amoniacales cuaternarios
- Agua oxigenada
- Diversos alcális y ácidos.

El desinfectante más universalmente usado es el cloro. El yodo y el bromo, son a veces, utilizados en piscinas, pero no en aguas residuales tratadas. El ozono es el más eficaz, no tanto así económico. También se ha utilizado una agua alcalina o muy ácida para destruir las bacterias patógenas; ya que un agua con un pH mayor que 11 o inferior a 3 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.

Agentes físicos: Los más utilizados son la luz y el calor. El agua caliente a la temperatura de ebullición, destruye las principales bacterias patógenas. El calor se usa frecuentemente en las industrias lácticas y de bebidas, pero no es un medio factible de aplicación a grandes cantidades de agua debido a su elevado costo.

TABLA 7.1. Comparación de las características ideales de los desinfectantes químicos

Característica	Desinfectante ideal	Cloro	Hipoclorito sódico	Hipoclorito cálcico	Dióxido de cloro	Ozono
Toxicidad para los microorganismos	Debe ser altamente tóxico a diluciones elevadas	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o tejido celular	Ligera	Alta	Alta	Alta	Alta
Estabilidad	La pérdida de acción germicida con el tiempo debe ser baja	Estable	Ligeramente inestable	Relativamente estable	Inestable, debe generarse a medida que se consume	Inestable, debe generarse a medida que se consume
No tóxico para las formas más elevadas de vida	Debe ser tóxico para los microorganismos y no tóxico para el hombre y otros animales	Altamente tóxico para formas más elevadas de vida	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en composición	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo
Interacción con materias extrañas	No debe ser adsorbido por otra materia orgánica	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo	Alta	Oxida la materia orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo dentro del intervalo de la temperatura ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de las superficies	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
No corrosivo y no colorante	No debe atacar los metales ni teñir la ropa	Altamente corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Altamente corrosivo	Altamente corrosivo
Capacidad desinfectante	Debe desinfectar al tiempo que desinfecta	Alta	Moderado	Moderado	Alta	Alta
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable	Coste bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderado	Coste alto

La luz solar, es buen desinfectante. En especial puede usarse la radiación ultravioleta. Se usan lámparas especiales, que emiten rayos ultravioletas, en la esterilización de pequeñas cantidades de agua.

Medios mecánicos: Las bacterias pueden también eliminarse por medios mecánicos durante el tratamiento del agua residual. En la Tabla XVI se indican algunos rendimientos típicos de eliminación para los diversos procesos de tratamiento. Los primeros cuatro se consideran de tipo físico. Las eliminaciones conseguidas son un subproducto de la función primaria del proceso.

Radiación: Los principales tipos de radiación son: electromagnética, acústica o de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de radioisótopos, tales como el cobalto 60.

Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado para desinfectar tanto el agua potable como el agua residual.

Los factores que influyen en la acción de cualquier desinfectante son:

- Tiempo de contacto
- Concentración y tipo de agente químico
- Intensidad y naturaleza del agente físico
- Número de organismos
- Tipos de organismos
- Naturaleza del medio líquido.

Tiempo de contacto: Nos indica que cuando mayor sea el tiempo de contacto, mayor será la eliminación de las bacterias.

Concentración y tipo de agente químico: Según el tipo de agente usado, la efectividad de la desinfección está en relación con la concentración de dicho desinfectante.

Intensidad y naturaleza del agente físico: Este factor es aplicable principalmente a agentes físicos como son la luz y el calor. Se dice que mientras más sea la intensidad de la luz o del calor, mayor es la eliminación de las bacterias.

Número de organismos: Este factor nos indica que cuando mayor sea la concentración de organismos, mayor será el tiempo requerido para alcanzar una mortandad dada.

Tipos de organismos: La efectividad de los distintos desinfectantes se ve influida por la naturaleza y condición de los microorganismos. Existen bacterias que no se eliminan con cierto tipo de desinfectantes, y existen otras que son fácilmente destruidas.

Naturaleza del medio líquido: Este factor nos indica que puede haber materia orgánica extraña que reaccione con la mayoría de los desinfectantes oxidantes, reduciendo su eficacia.

7.2 Reacciones del cloro con las aguas residuales

El cloro es una sustancia sumamente activa que reacciona con muchos compuestos, dando productos muy diversos. Si se agrega una pequeña cantidad de cloro a las aguas negras, se consumirá el reaccionar rápidamente, con sustancias como el ácido sulfhídrico y el férrico. En estas condiciones no se logra la desinfección. Añadiendo cloro suficiente para reaccionar con todos los compuestos reductores y la materia orgánica, entonces la adición de algo más de cloro actuará

sobre el amoníaco y otros compuestos nitrogenados, produciendo cloraminas u otras combinaciones del cloro que tienen acción desinfectante.

El cloro en sus diversas formas, se emplea casi exclusivamente como agente desinfectante del agua. Es barato, seguro y su manejo no representa gran dificultad.

Cuando se agrega cloro a las aguas negras se forman compuestos clorados como: ácido hipocloroso (HOCL), hipoclorito (OCL) y cloraminas.

Las cloraminas se originan por la reacción de ácido hipocloroso (HOCL) con el amoníaco presente en el agua residual.

Los hipocloritos son producto de la disociación del ácido hipocloroso.

Existen condiciones que afectan el valor desinfectante entre las cuales se encuentran: el pH, la temperatura, el tiempo de retención y la concentración del cloro.

Demanda de cloro: Es la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua residual, y la cantidad de cloro residual que permanece al final de un periodo de contacto especificado.

La cantidad de cloro que queda después de satisfacer la demanda de cloro es la que lleva a cabo la desinfección. Esta cantidad de cloro en exceso sobre la demanda de cloro, se define como cloro residual y se expresa en partes por millón.

7.3 Propósitos de la cloración

Las aguas negras se desinfectan para proteger los abastecimientos públicos de agua, la pesca, baños y playas; para evitar la propagación de enfermedades; para contribuir a combatir la corrosión; para evitar el desarrollo de la vegetación en las atarjeas; para combatir los malos olores; para prevenir la putrefacción en los depósitos de lodo, para facilitar la eliminación de grasas; para ayudar al tratamiento de algunos residuos industriales; para reducir la demanda bioquímica de oxígeno; para combatir la formación de espumas en los tanques de digestión; y para otros fines.

Como se vió anteriormente la cloración de las aguas residuales consiste en la aplicación del cloro para lograr un propósito determinado. El cloro puede introducirse en forma de gas, de solución acuosa, o en forma de hipoclorito, ya sea de sodio o de calcio, los cuales al disolverse en el agua, desprenden cloro. El cloro es el mismo no importa de donde provenga.

Los propósitos de la cloración son diversos, entre los cuales se incluyen:

Desinfección: Ni los métodos primarios ni los secundarios de tratamiento de aguas negras pueden eliminar las bacterias patógenas; es por eso que el cloro es usado con este fin.

Con la cloración no se pretende una esterilización, aunque sí se destruyen muchos otros organismos, pero no todos.

Experimentos de laboratorio y la experiencia real en las plantas, han demostrado que si se agregan a las aguas negras cloro suficiente para que a los 15 min de agregado quede una concentración de cloro residual de 0.5 ppm, se logra la desinfección.

La cantidad de cloro que se requiere para producir un cloro residual de 0.5 ppm varía de 12 a 24 kg por cada mil m³, en la mayoría de los efluentes primarios.

Generalmente se observa que en unas aguas negras domésticas de composición media, las siguientes dosificaciones de cloro son suficientes para producir un cloro residual adecuado para la desinfección.

Tipo de tratamiento	Dosificación (basada en un gasto medio de diseño)
Efluentes de tratamiento primario	20 - 25 ppm (mg/l)
Efluentes de filtros percoladores	15 ppm (mg/l)
Efluentes de plantas de lodos activados	8 ppm (mg/l)
Efluentes de filtros de arena	6 ppm (mg/l)

Protección de la descomposición de las aguas: Se agrega cloro para retardar la descomposición de las aguas negras y se pueden evitar los malos olores producidos, la cantidad de cloro requerida para este caso, depende del tiempo que tenga que retardarse la descomposición de las aguas residuales. En esta forma no se deja cloro residual.

El cloro puede aplicarse en la alcantarilla, antes de que llegue a la planta, en las líneas de distribución, en los pozos de succión de las bombas, en la cámara de cribas, en los desarenadores, en el efluente de los filtros percoladores, en los tanques de sedimentación o en cualquier lugar donde haya un problema de olor por las aguas

negras. Generalmente son suficientes dosis de 4 a 6 ppm, para controlar los olores.

Protección de las estructuras de la planta: La descomposición de las aguas residuales, produce ácido sulfhídrico, que puede generar una seria corrosión; una cloración suficiente para prevenir la formación de ácido sulfhídrico o para destruirlo, si ya sea formado, es la solución para combatir dicha corrosión.

La cantidad de cloro agregada suele ser menor. La acción corrosiva del ácido sulfhídrico daña y debilita las estructuras, lo que obligaría paralizar la planta para su reparación.

Es suficiente mantener el ácido sulfhídrico en 2 ppm, para que no se de la corrosión.

Espesamiento de los lodos: El exceso de los lodos activados o los lodos propios de las aguas residuales que se encuentran en la planta, se vuelven sépticas durante su tiempo de retención. esto se evita manteniendo un cloro residual de 1.0 mg/l en el líquido sobrenadante.

Mejoras en el funcionamiento de la planta: Muy rara vez el cloro es usado para que los lodos sean más pesados y tener una mejor sedimentación.

En los filtros percoladores, generalmente los olores se controlan mediante cloración en el tanque dosificador. También se usa para evitar el estacamiento del filtro, ocasionado por el exceso de organismos filamentosos.

Se usa también para disminuir el abudamiento de los lodos, obteniendo un cloro residual de alrededor de 0.1 ppm en el efluente, esto reduce el índice volumétrico de los lodos.

El espumamiento se controla por la adición continua de 3 a 15 mg/l de cloro, en los tanques de sedimentación.

Otro de los propósitos de la cloración es el de disminuir o demorar la DBO, ya que con una cloración que produzca un cloro residual de 0.2 a 0.5 ppm después de 15 minutos de contacto, puede hacer que disminuya en 15 a 35 % la DBO de las aguas residuales.

7.4 Riesgos en el manejo del cloro

Entre los riesgos del manejo del cloro se encuentran:

1) Tóxico. Su olor puede apreciarse a concentraciones de 3.5 volúmenes en un millón de volúmenes de aire; produce irritación en la garganta, tos; a 40 volúmenes es peligrosa una exposición de más de 30 minutos; y es fatal a más de 1000 volúmenes por millón.

2) Es aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire, desciende rápidamente y se debe ventilar el lugar.

3) Es sumamente corrosivo a temperaturas superiores a 90.5°C y a la temperatura ambiente cuando la atmósfera está húmeda. Por tal motivo es preciso almacenarlo en recipientes anticorrosivos.

Se recomienda disponer de uno o más tipos de máscaras contra gases y que las personas que manejen el cloro sean instruidas adecuadamente en cuanto al manejo del cloro.

7.5 Operación y Mantenimiento de los cloradores

Los cloradores son aparatos o dispositivos dosificadores de cloro.

El clorador se coloca en un lugar independiente, que el ambiente sea de aproximadamente 15°C y bien ventilado; el cloro se aplica usualmente en forma de solución acuosa, necesitando aproximadamente 131,25 l de agua por kg de cloro, a una temperatura de 20°C.

En la práctica se dispone de por lo menos cuatro tipos de aparatos para aplicar el cloro.

- **Aplicación de solución:** Se introduce en las aguas negras una solución acuosa muy concentrada de cloro.
- **Directo o seco:** Se introduce el cloro directamente en las aguas negras, en forma gaseosa bajo presión.
- **Semivacío:** Se mantiene el sistema bajo vacío, mientras el aductor está en funcionamiento.
- **Vacío completo:** Se emplea un eyector al que se le aporta gas para proporcionar la solución por aplicar y crear el vacío.

El equipo para la aplicación del cloro, debe tener capacidad para agregar por lo menos 18 mg/l de cloro al líquido saliente de un tanque de sedimentación; 12 mg/l al líquido procedente de un filtro de filtración continua y 6 mg/l de líquido saliente de un filtro intermitente de arena.

Un buen clorador debe alimentar el gas a dosis ajustables.

El tipo de control para cloradores pueden ser:
Manual, Semiautomático o totalmente automático.

Cuando la cloración se practica para la desinfección, es necesario que sea continua. Para asegurar esto, las líneas del cloro gaseoso de los cilindros debe alimentar a un distribuidor que permita el cambio de los cilindros sin interrumpir la alimentación del gas.

El cloro se maneja usualmente en cilindros de 45 y 70 kg y 1 ton., carros tanque de 16, 30 y 55 ton. y en cilindros provistos con válvulas de seguridad.

Los cilindros pueden manejarse con completa seguridad, ya que no son propensos a explotar.

Los cloradores pueden instalarse siempre por duplicado, de modo que nunca, se debe interrumpir el servicio y debe existir una reserva de cloro para dos semanas.

Para evitar el congelamiento del cloro es recomendable que los cloradores se mantengan a una temperatura de 24°C o más.

En todo caso es preciso saber atender a alguien, proporcionándole los primeros auxilios en caso de intoxicación con cloro.

CAPITULO 8

Tratamiento en suelo

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno conocerá los procesos de tratamiento del agua residual en el suelo.

CAPITULO 8

TRATAMIENTO EN SUELO

Las aguas residuales pueden ser vertidas al terreno, bien como sistema de evacuación final o como un tratamiento previo a su descarga a aguas superficiales.

La práctica generalmente aceptada es que las aguas residuales deben recibir un tratamiento secundario antes de su evacuación al terreno.

8.1 Mecanismos de remoción de contaminantes en el tratamiento del agua en el suelo.

La actividad más importante tanto biológica como química, tiene lugar en la capa superior de 300 mm del manto del suelo. A profundidades mayores, puede producirse la absorción de fosfatos y metales pesados, una vez que se haya agotado la capacidad de la zona superior.

El tratamiento en suelo, es un sistema de tratamiento biológico muy efectivo en la eliminación de la materia orgánica, ya que esta se infiltra y se reduce por oxidación biológica. Para evitar las condiciones anaerobia y se produzcan olores, se utilizan ciclos de carga intermitentes. Esto permite que el aire penetre en el suelo y suministre oxígeno a las bacterias que oxidan la materia orgánica.

El nitrógeno puede eliminarse en la aplicación al terreno por la incorporación en el cultivo y por desnitrificación; en general el nitrógeno al ser aplicado al suelo se convierte en proteínas que sirven para nutrir a los

vegetales y otra parte de nitrógeno se puede evaporar y otra más puede llegar por lixiviación a las aguas subterráneas.

El fósforo puede eliminarse por la aplicación al terreno; éste se presenta principalmente en forma de ortofosfatos, y es adsorbido por los minerales de arcillas y por ciertas fracciones orgánicas de suelo presentes en la matriz del terreno. El fósforo adsorbido puede quedar firmemente retenido y es, generalmente resistente a la lixiviación.

Los cationes intercambiables, particularmente los iones de sodio, calcio y magnesio, merecen especial atención, por que en altas concentraciones de sodio en suelos de naturaleza arcillosa dispersan las partículas del suelo y disminuye su permeabilidad. Ocasionalmente, las altas concentraciones de sodio en el suelo pueden ser tóxicas para las plantas, aunque los efectos de la permeabilidad se producen generalmente primero.

La capacidad de retención del suelo, para la mayoría de los metales en la mayor parte de los suelos, es generalmente alta, especialmente para valores de pH por encima de 7.

Los mecanismos para la eliminación de las bacterias comunes a la mayoría de los métodos de aplicación al terreno incluyen la retención, muerte, sedimentación, atrapamiento y adsorción. En la irrigación las bacterias son interceptadas por la vegetación, donde son eliminadas por desecación.

Otros compuestos orgánicos tales como pesticidas, celulosa, polisacáridos y materiales húmicos, también se encuentran presentes en el agua residual. Los pesticidas son adsorbidos por el suelo y pueden ser degradados lentamente.

El aspecto técnico más importante a tener en cuenta para el vertido de aguas residuales al terreno, es la capacidad a largo plazo de

éste, para permitir el transporte del líquido. Las técnicas de aplicación que suelen utilizarse normalmente son las tres siguientes:

Irrigación (riego por aspersión)

Infiltración

Escurrimiento superficial.

Las dos primeras dependen de la posibilidad del movimiento descendente del agua a través del suelo, esto es, están limitadas por su capacidad de infiltración y percolación.

8.2 Irrigación

El riego es un proceso de aplicación al terreno que más se usa actualmente, implica la aplicación del efluente al terreno para su tratamiento y para proporcionar las necesidades de ciertos compuestos para el crecimiento de las plantas. El efluente aplicado recibe un tratamiento por medios físicos, químicos y biológicos al filtrarse en el suelo. El afluente puede aplicarse a los cultivos o a la vegetación tanto por aspersión como por técnicas superficiales.

Desde el punto de vista de la salud, las granjas regadas con aguas negras se deben restringir al cultivar forrajes. No se deben cultivar verduras especialmente aquellas que se coman crudas.

El carácter de la tierra y la cantidad y espaciamiento de las lluvias son factores importantes. Las condiciones de humedad y viento tienen influencia. Una baja humedad y la presencia de viento produce una evaporación más elevada y secan rápidamente el terreno después de la aplicación de las aguas negras.

Los métodos principales para la irrigación son:

Irrigación por surcos: Los surcos están separados de 1 a 4.5 metros y tienen una profundidad de 0.30 a 1 m, y el ancho de su bordo es igual a su profundidad.

Riego por aspersión: Se pueden tolerar pendientes moderadas, y se han utilizado áreas como árboles o maleza y tierra para pasturas y cultivos. Las aguas negras se bombean a través de rociadores giratorios.

En zonas forestales se emplea un sistema de distribución formado por tuberías y un conjunto de boquillas fijas instaladas sobre elementos verticales a una altura del orden de un metro sobre la superficie del terreno.

En zonas agrícolas se puede emplear un sistema construido por unos grandes brazos que giran al rededor de un eje central y que son capaces de regar una superficie del 65 ha.

Las tasas de aplicación normalmente empleadas varían entre 5 y 150 mm/semana, siendo 50 mm/semana un valor típico. La aplicación se realiza a una tasa del orden de 6 mm/hora durante 8 hrs, seguida de 160 hrs sin aplicación; o bien 6 mm/hr durante 4 hrs, dos veces por semana.

8.3 Escurrimiento superficial

Es esencialmente un proceso de tratamiento biológico en el cual se aplica el agua residual sobre las zonas superiores de unas terrazas dispuestas en pendiente desde donde fluyen a través de la superficie vegetal hasta una zanja de recogida. La renovación del agua se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos, al fluir el agua residual en una lámina delgada sobre la pendiente relativamente impermeable.

El escurrimiento superficial puede utilizarse como un proceso de tratamiento avanzado del agua residual. Este segundo caso permite el empleo de mayores tasas, entre 15 y 20 cm/semana, dependiendo del grado de tratamiento requerido. Cuando el vertido en superficie no esté permitido, el effluente puede recircularse o aplicarse al terreno en un sistema de irrigación o infiltración.

El escurrimiento superficial, puede también usarse para la producción de pastos de forraje y para la preservación de zonas verdes y espacios abiertos.

Este método suele aplicarse a terrenos de baja permeabilidad.

Para minimizar la posibilidad de erosión y contribuir a la eliminación de nutrientes, es esencial cubrir el terreno con plantas o árboles, empleándose muy a menudo, heno de forraje.

La pendiente del terreno depende de la carga hidráulica aplicada, ya que el tiempo de retención es un factor importante para conseguir un tratamiento completo y, por otra parte, la velocidad de circulación debe ser mínima para no producir erosión. Si se tiene una pendiente baja, se puede producir almacenamiento de agua y provocar el desarrollo de condiciones anaerobias.

El terreno debe ser uniforme, para evitar el estancamiento que se pudieran dar en desniveles existentes.

8.4 Infiltración

En este sistema el efluente, se aplica al suelo en tasas elevadas (de 10 a 210 cm/semana) por extensión o por aspersión.

El tratamiento se produce al atravesar el agua la matriz del suelo.

Los objetivos del sistema pueden ser:

- La recarga de acuíferos
- Tratamiento natural, seguido de la extracción por bombeo o drenaje para su recuperación.

Cuando la calidad del agua subterránea sufre un proceso de degradación por intrusión salina, la recarga puede usarse para proteger el agua subterránea existente.

Cuando la calidad del agua infiltrada no será igual que la subterránea, la primera puede ser extraída por bombeo o drenaje, ya sea natural o superficial, para ser nuevamente infiltrada, y se logre por lo menos la misma calidad del agua subterránea.

Este sistema se aplica a suelos altamente permeables, tales como arenas y arenas limosas, generalmente no se usa la vegetación, por lo tanto es más adaptable a climas fríos.

Los ciclos de aplicación de efluente son alternativos de periodos de inundación y de secado, esto es esencial para el reestablecimiento de las condiciones aerobias dentro de las capas del suelo.

El agua residual se vierte en unos estanques de grandes dimensiones construidos sobre terrenos con las características antes mencionadas; el fondo de estos estanques suele estar cubierto con un tipo de hierba que es muy resistente tanto en condiciones húmedas como secas, y que contribuye a la eliminación del nitrógeno y a mantener la capacidad de infiltración de la superficie.

Antes de proceder al proyecto de un sistema de filtración, debe investigarse el perfil del suelo hasta una profundidad de 30 m o más y establecer las condiciones de las aguas subterráneas y las características de la circulación del agua.

La figura 8.1 nos presenta los tres tipos de aplicación al terreno de las aguas residuales.

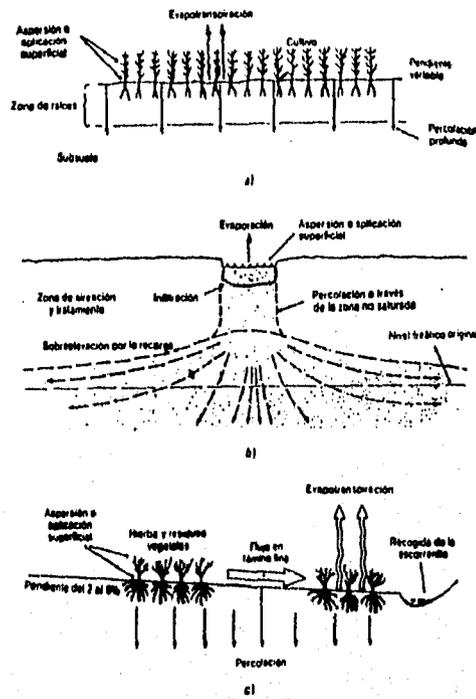


Fig. 8.1 Aplicación al terreno: a) Irrigación, b) Infiltración, c) escurrimiento superficial.

CAPITULO 9

Tratamiento y vertido de lodos

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno explicará los métodos de tratamiento y disposición final de los lodos producidos en los procesos de tratamiento.

CAPITULO 9

TRATAMIENTO Y VERTIDO DE LODOS

Los lodos son sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques o estanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semifluida.

Por su origen los lodos pueden ser: primarios, secundarios, exceso de lodos activados o lodos químicos.

Por el tratamiento recibido pueden ser: crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos.

Los lodos deben recibir algún tratamiento que sean capaz de modificar sus características para que puedan disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

La calidad y composición de los lodos varía según las características de las aguas negras de donde hayan sido retirados y depende, del tratamiento por el cual hayan sido obtenidos.

Lodos crudos: Son los obtenidos de un tratamiento de sedimentación simple, son sólidos sedimentables del agua cruda; no han sufrido descomposición y son inestables y putrecibles. Son de color gris, de apariencia desagradable y contienen desperdicios sólidos fecales y otros desechos, con un mal olor.

Lodos secundarios: Son los obtenidos de un tanque de sedimentación secundaria de un filtro percolador, son materia orgánica parcialmente descompuesta. Son de color café oscuro, floculentos, de aspecto homogéneo y tienen menos olor que los crudos.

Lodos en exceso: Son los lodos sobrantes del proceso de lodos activados, están parcialmente descompuestos, son de color café dorado y floculentos y tienen un olor a tierra no desagradable.

Lodos químicos: Son los derivados de un proceso de precipitación química, son de color negro, con olor menos desagradable que los crudos. Su descomposición es más lenta que los otros procesos. Su volumen es más grande y no son fáciles de manejar para su digestión.

Las razones para un tratamiento de lodos son principalmente dos:

- 1) Disminuir por eliminación de agua el volumen, del material que va a ser manejado.
- 2) Descomponer la materia orgánica muy putrecible a compuestos orgánicos más estables o inertes, de los cuales pueda separarse el agua con mayor facilidad. A esto se le llama digestión.

9.1 Métodos de tratamiento de los lodos

Los problemas que se presentan al tratar los lodos son complejos porque:

- Está constituidos por las sustancias responsables del carácter desagradable del agua residual cruda.
- El lodos procedente de tratamiento biológico se compone de materia orgánica, que se descompondrá y se volverá desagradable.
- Sólo una pequeña parte del lodo es materia sólida.

Los métodos principalmente usados en la actualidad para el tratamiento y la evacuación del lodo se resumen e la Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Métodos de tratamiento y evacuación de fango

Operación unitaria, proceso unitario, o método de tratamiento	Función
Operaciones de pretratamiento	
Trituración	Reducción de tamaño
Desarenado	Eliminación de arenas
Mezclado	Mezclado
Almacenamiento	Almacenamiento
Espesamiento	
Por gravedad	Reducción de volumen
Por flotación	Reducción de volumen
Por centrifugación	Reducción de volumen
Estabilización	
Oxidación con cloro	Estabilización
Estabilización con cal	Estabilización
Tratamiento térmico	Estabilización
Digestión anaerobia	Estabilización, reducción de masa
Digestión aerobia	Estabilización, reducción de masa
Acondicionamiento	
Acondicionamiento químico	Acondicionamiento del fango
Elutriación	Elutriación
Tratamiento cabera	Acondicionamiento del fango
Desinfección	
Desinfección	Desinfección
Deshidratación	
Filtro de vacío	Reducción de volumen
Filtro prensa	Reducción de volumen
Filtro de banda horizontal	Reducción de volumen
Centrífuga	Reducción de volumen
Era de secado	Reducción de volumen
Laguna	Almacenamiento, reducción de volumen
Secado	
Instantáneo	Reducción de peso, reducción de volumen
Por pulverización	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno rotativo	Reducción de peso, reducción de volumen
En horno de pisos múltiples	Reducción de peso, reducción de volumen
Deshidratación por emersión en aceite	Reducción de peso, reducción de volumen
Compostaje	
Compostaje (solo fango)	Recuperación de productos, reducción de volumen
Compostaje combinado con residuos sólidos	Recuperación de productos, reducción de volumen
Reducción térmica	
Horno de pisos múltiples	Reducción de volumen, recuperación de calor
Horno de lecho fluidificado	Reducción de volumen
Combustión instantánea	Reducción de volumen
Coquefacción con residuos sólidos	Reducción de volumen
Copirólisis con residuos sólidos	Reducción de volumen, recuperación de calor
Oxidación por vía húmeda	Reducción de volumen
Evacuación final	
A vertedero	Evacuación final
Aplicación al terreno	Evacuación final
Regeneración de tierras	Evacuación final, regeneración del terreno
Reutilización	Evacuación final, recuperación de recursos

El espesamiento, el acondicionamiento, la deshidratación y el secado se utilizan fundamentalmente, para eliminar la humedad del fango; la digestión, la incineración y la oxidación por vía húmeda se utilizan principalmente para eliminar la materia orgánica presente.

A continuación se dará la explicación de algunos de los métodos usados para el tratamiento de los lodos.

Espesamiento: Consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos, en tanques especiales diseñados para este propósito. Se utiliza para tratar los lodos en exceso y en plantas grandes, es decir para lodos en gran escala.

El tanque espesador de lodos, está equipado con paletas verticales de movimiento lento. Estas agitan lentamente el lodo, dejando en libertad algo de los gases atrapados y también algo del agua. Mediante este método el volumen del lodo se reduce.

El tamaño del espesador está basado en la carga sólida o líquida, la que sea mayor.

Un espesador de lodos se presenta en la figura 9.1

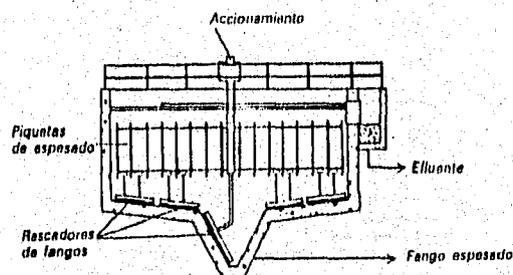


Fig. 9.1 Espesador estático de fangos

Digestión: El propósito es disminuir el volumen, y la descomposición de la materia orgánica muy putrecible hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o relativamente estables.

La digestión del lodo se lleva en condiciones anaerobias.

Los microorganismos atacan en primer lugar a los sólidos solubles o disueltos, como los azúcares. De estas reacciones se forman ácidos orgánicos, y gases como anhídrido carbónico y anhídrido sulfhídrico. El valor del pH disminuye, esto se conoce como fermentación ácida y se produce con rapidez.

En una segunda etapa llamada periodo de digestión ácida, los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados son atacados y licuados con mucho mayor rapidez. Durante esta etapa el valor del pH aumenta.

En la tercera etapa llamada periodo de digestión intensa, estabilización y gasificación; son atacados los materiales nitrogenados más recientes, como son las proteínas, los aminoácidos y otros. El contenido de ácidos volátiles disminuye, el valor del pH aumenta, se producen grandes volúmenes de gases, principalmente metano (CH_4).

Los sólidos que aún quedan son relativamente estables o lentamente putrecibles pudiendo disponer de ellos sin crear condiciones indeseables.

El progreso de la digestión puede medirse por la destrucción de la materia orgánica, o por el volumen y composición de los gases que se produzcan. La disminución del contenido de materia orgánica, medida en función de los sólidos volátiles, indica la marcha de la digestión.

El sobrenadante es el líquido del digestor, que queda sobre los lodos sólidos. Es el licor que se ha separado de los sólidos de los lodos. Es necesario su tratamiento antes de su disposición ya que se descompone rápidamente.

Se acondicionan áreas excavadas en la que se dejan escurrir y secar los lodos digeridos, durante un periodo de meses o incluso de un año o más. Usualmente se excavan con buil dozers.

Acondicionamiento químico: Este método prepara a los lodos para un mejor y más económico tratamiento ulterior con filtros al vacío o centrífugas.

Se han empleado productos químicos como son: ácido sulfúrico, alumbre, la carrasosa verde clorada, sulfato ferroso, cloruro férrico con o sin cal y otros.

El factor determinante para usar cualquier producto de los mencionados es el costo.

La función del producto químico, es que baja el pH hasta el punto que las partículas más chicas se coagulan formando otras más grandes y el agua contenida en los sólidos de los lodos se separa más fácilmente.

Para acondicionar correctamente los lodos, es esencial mezclarlos íntimamente con el coagulante. El tanque donde se disuelven debe ser de un material resistente a los ácidos.

Elustración: Esto quiere decir purificación por lavado. Este tratamiento de lodos consiste en extraer los compuestos amínicos o amoniacales, por medio de agua o afluentes de plantas de tratamiento. Esto se hace para que disminuya la demanda de coagulante, se usa como pretratamiento, antes de la coagulación con productos químicos.

Se lleva a cabo mezclando los lodos con agua del afluente durante un periodo de tiempo muy corto, a menudo inferior a 20 segundos, por medio de agitación mecánica o por aire difundido. Se deja sedimentar y el sobrenadante se regresa al proceso de tratamiento de aguas negras.

Las ventajas de la elustración son:

- Disminución del 65 a 80 % de la cantidad de productos químicos para el acondicionamiento.
- Menor contenido de cenizas en la torta del filtro.
- Se requiere poca o ninguna cal como producto acondicionador.

Filtración al vacío: Se emplea para eliminar el agua de los lodos. Consiste en un tambor giratorio cubierto con un medio filtrante (tela de algodón, lana, nylon, dynel, fibra de vidrio o plástico), que está parcialmente sumergido en un recipiente en el que se encuentra el lodo sometido a una agitación suave. Al girar el tambor el fango es succionado contra la pared filtrante de aquel y, al abandonar el recipiente, el agua es extraída a través del medio dejando a los sólidos adheridos a la pared del tambor. Al seguir en su rotación, los sólidos son eliminados por medio de un mecanismo, por extracción por medio de una hoja rascadora, o bien haciendolo pasar por unos cilindros de prensado, o ambos sistemas.

El medio filtrante se lava en seguida, antes de ser sumergido nuevamente en el lodo.

La figura 9.2 nos presenta un filtro al vacío.

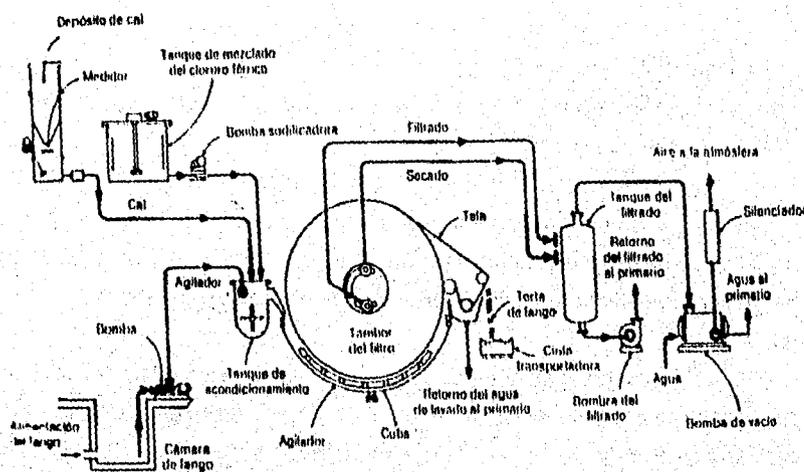


Fig. 9.2 Sistema de filtración al vacío

Las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido a él.

La medida común del funcionamiento de los filtros de vacío es la cantidad de kilogramos por hora, de sólidos secos, que se recogen por cada metro cuadrado de superficie filtrante.

Secado con calor: Este método se usa cuando los lodos servirán como fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuirse hasta cerca del 10%. Para este proceso se usan comúnmente cuatro unidades diferentes que son:

- 1) Horno secador rotatorio
- 2) Secador instantáneo
- 3) Secador de pulverizadores
- 4) Horno de pisos múltiples

Horno secador rotatorio: Es un cilindro de diámetro de 1.20 m a 2.40 m y de longitud de 8 a 10 veces el diámetro. El cilindro gira de 4 a 8 rpm sobre un eje inclinado. Se usa generalmente para lodos deshidratados procedentes de los filtros de vacío.

La temperatura media de secado no debe pasar de 370 °C.

Los lodos que se van a secar entran por un extremo y son acarreados hasta la descarga por gravedad, deshaciéndose y mezclándose por medio de deflectores helicoidales fijados en la pared del cilindro.

Secador instantáneo: La torta de lodos mezclados previamente con lodos previamente secados, pasa a un molino de martillos donde las partículas de lodo se secan casi instantáneamente a medida que se dispersan y se mantienen en suspensión en una corriente de gases calientes. Esas partículas pasan a un separador donde el lodo seco es separado de los gases cargados de humedad.

Secador de pulverizadores: Es una torre por la que pasan gases calientes. Los lodos húmedos se vierten dentro de ésta torre. El agua de las partículas atomizadas se evapora y sale con los gases calientes, cayendo al fondo de la torre los sólidos secos.

Debe tenerse cuidado con el manejo de los lodos pulverizados muy secos para que no se acumulen como polvo que después pueda removerse y entrar en ignición ocasionando una explosión.

Horno de pisos múltiples: Consta de un cilindro vertical forrado con ladrillo u otro material refractario que contiene una serie de cuatro o más compartimentos, uno encima de otro. Tratan los lodos provenientes de un filtro al vacío generalmente, que son los que alimentan al piso superior y se secan parcialmente por los gases calientes que llegan a los hogares inferiores, mediante cepillos rotatorios o rastrillos mecánicos, hasta que alcanzan tal grado de sequedad que entran en ignición y se consumen.

Reducción térmica (Incineración): Hay dos tipos principales de incineradores para lodos: instantáneos y de pisos múltiples.

Los instantáneos se diseñan para quemar los lodos secos provenientes de los secadores instantáneos o pulverizadores.

El calor de combustión se aprovecha para los secadores.

Los de pisos múltiples son iguales a los descritos en los de secado por calentamiento.

En cualquier incinerador, los gases de combustión deben tener y mantenerse a una temperatura de 675 y 760 °C hasta que queden completamente incinerados. Esto es para evitar olores molestos en la descarga de la chimenea.

Todos los tipos de lodos pueden ser secados o incinerados.

Las ventajas de la incineración son:

- Economía
- Supresión de olor
- Independencia del clima

- Gran disminución del volumen y peso del producto final.

Oxidación húmeda (proceso Zimmerman) : En este proceso los lodos se desmenuzan y se precalientan en un tanque mezclador hasta unos 80 °C y después se alimentan por medio de una bomba de alta presión capaz de descargarlos a una tubería en la que se introduce aire de 84 a 126 kg/cm².

La mezcla caliente de aire y lodos se pasa entonces por cambiadores de calor que elevan su temperatura hasta cerca de 204 °C, antes de que la mezcla entre a un reactor vertical de flujo ascendente. Dentro del reactor, el oxígeno del aire se combina con la materia orgánica de los lodos, oxidándolos hasta cenizas y liberando calor.

El grado de oxidación depende principalmente de la temperatura en el reactor. La temperatura de éste se eleva hasta cerca de 260 °C.

El éxito de la oxidación húmeda depende principalmente de suministrar lodos homogéneos con un contenido de sólidos prácticamente uniformes.

9.2 Disposición de los lodos

Los métodos descritos anteriormente disminuyen el volumen de los lodos, pero no los eliminan en su totalidad, es por ello la necesidad de la evacuación final de los lodos, que se deben eliminar de la planta.

El lodo puede eliminarse por diversos procedimientos: almacenamiento en lagunas, incorporación al suelo enterrándolo o como base de fertilizantes y su descarga en el agua del mar. Rara vez se descarga en masas naturales de agua dulce.

A continuación mencionaremos algunos métodos para la evacuación del lodo.

Disposición en agua: Debe existir suficiente oxígeno disponible en el agua que recibe el lodo, para prevenir la putrefacción y una corriente relativamente fuerte para evitar la sedimentación. Es conveniente una decarga profunda del lodo, pues favorece a la mezcla de lodo con agua de dilución.

Este método es económico, pero poco común. En algunas ciudades de la costa, los lodos se bombean a lanchones, ya sean crudos o digeridos, y se llevan mar adentro para su evacuación.

Lagunas de lodo: Hay tres tipos de lagunas de lodo

- Lagunas de digestión: se constituyen como un tanque de digestión independiente, sea abierto o cubierto. El periodo de retención depende de como se haga funcionar, algunas veces, depende prolongarse hasta uno o dos años.

- Lagunas de desecación: Se construye en forma de recipiente impermeable al agua, de unos 1.8 m de profundidad y de tan sólo 30 a 45 cm de ancho. El periodo de retención puede ser de hasta dos años.

- Lagunas permanentes: En estas lagunas el lodo se almacena indefinidamente.

Durante el periodo de reposo en la laguna, parte de la humedad se infiltra o se evapora y la materia orgánica sufre una digestión, desprendiendo algunas veces malos olores.

En general este método de evacuación es inconveniente por su producción de malos olores que obliga que este método se realice alejado de las zonas urbanas.

Enterrado de lodo: este método consiste en enterrar el lodo en zanjas de unos 60 cm de profundidad, en una capa de por lo menos 30 cm de tierra, por encima sin que cause ningún problema. El terreno usado para tal fin debe tener un buen drenaje y se puede decir que queda designado exclusivamente para tal fin, percibiéndose malos olores.

Relleno: Con este propósito se emplean los lodos digeridos, los cuales quedan al intemperie sin producir molestias por el olor que pueda considerarse serio o extremo.

Ya sea mojado o parcialmente deshidratado, se pueden usar para rellenar terrenos bajos, tal como sale de los lechos secadores o de filtros de vacío.

Fertilizante o acondicionador de suelos: El lodo contiene muchos elementos esenciales para la vida vegetal, como nitrógeno, fósforo, potasio otros nutrientes que se consideran indispensables para la vida vegetal como boro, calcio, cobre, hierro, magnesio, azufre y zinc.

El humus del lodo, beneficia al suelo aumentando su capacidad de retención de agua y mejora su calidad para el cultivo. También disminuye la erosión del suelo.

Los lodos de aguas negras, secos o deshidratados, son excelentes mejoradores del suelo, además de que son buenos fertilizantes aunque incompletos, a no ser que se refuercen con nitrógeno, fósforo y potasio.

Cuando se aplica lodo a los terrenos como fertilizantes, las aplicaciones recomendadas varían entre 20 ton de lodo húmedo por ha. para los huertos frutales, y 120 ton/ha. para los cultivos de flores y hortalizas.

El empleo de los lodos como fertilizante en los campos de cultivo no dejan de aportar bacterias patógenas a los cultivos, ya que ningún método de tratamiento de lodos elimina por completo a éstas bacterias ; pero hasta el momento no se tienen reportes de tragedias que sean consecuencia de la aplicación de los lodos como fertilizantes.

CAPITULO 10

Servicios adicionales de la planta

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno describirá las obras y servicios complementarios que se requieren en una planta de tratamiento.

CAPITULO 10

SERVICIOS ADICIONALES DE LA PLANTA

10.1 Obras accesorias a una planta de tratamiento

Las obras accesorias de una planta de tratamiento de aguas residuales son los edificios y estructuras que consisten en: Oficinas, laboratorios, cuartos de control, almacenamiento de reactivos, sanitarios, vestidores, duchas, comedor, cuarto para herramienta, taller, cochera, entre otros.

Es lo que conforma a la planta de tratamiento a parte de los dispositivos de los diferentes niveles de tratamiento, y son igual de importantes, para que la planta funcione correctamente, y poder alcanzar los objetivos que se hayan planteado en cada caso.

Oficinas: Es donde se lleva a cabo el control administrativo de la planta y donde se pueden desarrollar las relaciones públicas.

Laboratorios: Necesarios para llevar a cabo los análisis de las aguas y lodos y poder llevar a cabo el control de avance de tratamiento o purificación.

Cuarto de control: Estos pueden ser para el control de válvulas, de bombas, de motores y otros. Como indicadores y registros de afluentes, afluentes, recirculación, lodos de retorno, pH, temperatura, presión y volumen de aire, presión y volumen de gas. Se tiene el control de todo el equipo y se pueden desconectar los interruptores.

Bodegas: Donde se almacenan los reactivos, que se requieren para llevar a cabo los distintos niveles de tratamiento, tienen que ser apropiada para conservar las características de los reactivos, así como para evitar cualquier accidente.

Sanitarios: Provisos de lo elemental, en cantidad suficiente y bien distribuidos en toda la planta.

Vestidores y duchas: Son instalaciones que bien pueden ser parte de los sanitarios y son autoexplicativos.

Comedor: Instalación que depende del tamaño de la planta para su factibilidad, con una extremada higiene, para el servicio de los trabajadores de la planta.

Taller: Toda planta de tratamiento debe contar con un taller para la reparación de los dispositivos o de cualquier elemento que se pueda reparar en el sitio.

Tiene como complemento un cuarto de herramienta para disponer de la misma al instante.

Cochera: Es un termino autoexplicativo y que depende del tamaño de la planta.

10.2 Mantenimiento de la planta y del equipo

Para tener una buena conservación de la planta (edificios y otras estructuras) se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1) Evitar la corrosión por el sulfato de hidrógeno. Para ello: ventilar, operar de modo que se evite cualquier putrefacción en lugares cerrados, quemar los gases, usar metales resistentes a la corrosión y usar pinturas butuminosas a base de zinc.

El mantenimiento constituye la actividad destinada a mantener una instalación en funcionamiento.

2) Evitar y reducir la humedad y las condensaciones. esto puede conseguirse mediante: buena ventilación, el aislamiento de los tubos de agua fría y calentando la atmósfera.

3) Usar concreto a prueba de acción de la intemperie.

4) Tapar todas las grietas de los tanques de concreto

5) Mantener el interior de todos los edificios, manteniendolos limpios, bien ventilados y bien iluminados.

6) Evitar temperaturas de congelación

7) Evitar formaciones de charcos estancados de agua superficial, que puedan servir de criadero de mosquitos y otros insectos.

El cuidado de los terrenos adyacentes a la instalación sólo requerirán un cuidado y atención razonable para mantener los caminos y pasos en buenas condiciones, para darles un aspecto general agradable.

Para el cuidado del equipo algunos consejos útiles son los siguientes:

1) Conservar un archivo de todas las hojas de instrucciones u otro material impreso, relativas a cada pieza del equipo, y colocar las instrucciones más importantes para el funcionamiento de un lugar visible y protegido, cerca de cada aparato.

2) Lubricar de acuerdo con las instrucciones, empleando el lubricante recomendado, o el que la experiencia haya demostrado ser el más conveniente.

3) Limpiar, sopletear, pintar o proteger de otros modos el equipo, de la grasa las arcillas y la corrosión.

4) Revisar periódicamente la maquinaria para observar si presenta grietas o desgastes, y comprobar su buen funcionamiento. El equipo durará más y su consumo de energía será menor.

5) Comprobar periódicamente la eficacia de los dispositivos del equipo eléctrico.

6) Examinar periódicamente el equipo, para comprobar si las instalaciones están bien, si las armaduras están listas y sin desgastes, si no hay escobillas dobladas, si el material de aislamiento no está corroído o desgastado, si está bien la limpieza y lubricación de los interruptores magnéticos, si no hay obstrucción en los equipos de aspersión, y si están bien colocados o rótulos de los tableros eléctricos, gabinetes, u otro equipo. Un buen material para limpiar el material eléctrico, es el tetracloruro de carbono.

7) No deben usarse pinturas a base de aluminio en los tableros electrónicos, deben emplearse esmaltes asfálticos.

8) Se llevará un registro de las inspecciones, observaciones y reparaciones. Se llevará así una conservación más eficaz y es menos probable que se olvide realizar algo que sea necesario.

En un grupo de registro adecuados, debe figurar una hoja de anotaciones diarias y un registro de condiciones meteorológicas por día, así como una serie de tarjetas sobre la conservación. En la hoja de anotaciones

diarias, deben consignarse todos los sucesos no normales, y las tarjetas sobre conservación deben contener un registro completo de cada unidad del equipo, estructura u otro elemento, que requiere una conservación preventiva.

Un elemento importante del equipo, es un juego completo de planos y especificaciones bien rotulados para la construcción de las instalaciones. Deben conservarse muy cuidadosamente, pues tienen un valor incalculable cuando hay que hacer modificaciones o reparaciones.

10.3 Seguridad en la planta de tratamiento

Esta sección está dedicada a la prevención de accidentes, que es el resultado de una profunda meditación, así como la aplicación de unos cuantos principios básicos y el conocimiento de los principios potenciales.

Se ha dicho que la afirmación "SIEMPRE SEA CUIDADOSO" previene muchos accidentes.

En las plantas de tratamiento debe existir un comité que se responsabilice de la seguridad; ya que son muy frecuentes los accidentes, en una planta de tratamiento existe mayor mortandad que en un taller mecánico.

Los riesgos que existen en una planta son:

- Daños físicos
- Infecciones corporales
- Peligros asociados con gases nocivos o vapores venenosos, y falta de oxígeno.

Estos riesgos pueden prevenirse mediante advertencias y procedimientos adecuados de seguridad.

La prevención de daños físicos se da con un buen orden interno. La herramienta, las piezas de repuesto y otros objetos no deben dejarse dondequiera.

Para prevenir el peligro se pueden usar bandas rojas como señales de advertencia, o si se está en una calle transitada disponer de hombres con banderas o en su caso usar el camión de servicio donde procede el tráfico.

Cuando se baja a pozos de inspección, las botas de hule ayudan a prevenir resbalones y evitan infecciones, y se debe de llevar una banda de seguridad en la cintura como precaución de resbalar a la alcantarilla.

En un pozo de inspección o en cualquier sitio cerrado hay que alumbrar por medio de espejos con luz solar siempre que sea posible ya que es excelente y seguro. O en todo caso emplear lámparas a prueba de explosión.

Se recomienda que los extinguidores, adecuados para combatir los incendios ocasionados por fallas eléctricas, se coloquen en lugares fácilmente accesibles en las estaciones de bombeo y plantas de tratamiento.

Los operarios que manejen aguas negras, están expuestos a enfermedades como la fiebre tifoidea, la paratifoidea, la disenteria amibiana, ictericia infecciosa y otras infecciones intestinales. También deben ser vacunados contra el tétanos y las infecciones de la piel.

La planta debe contar con un botiquín de emergencia, y un servicio médico que procurará que los operarios tomen cursos de primeros auxilios en la cruz roja. Por pequeño que sea un rasguño o una cortadura deberá recibir atención médica.

Las manos se pueden proteger con guantes de algodón cubiertos de hule, los pies se protegen con botas de hule o cubierta de hule para zapatos como protección de la humedad y de las infecciones.

Se usarán ropas de trabajo o cubiertas protectoras en lugares sucios, debiendo lavarse con frecuencia.

Otra de las recomendaciones para prevenir accidentes, es que no se fume en las alcantarillas, ni en ningún otro lugar peligroso, ya que pueden existir gases inflamables. La mayoría de las infecciones llega al cuerpo por la vía bucal, nasal, por ojos y oídos, y la colilla del cigarro contribuye para que se den las infecciones intestinales.

Por otra parte los gases nocivos pueden causar quemaduras, explosiones, asfixia y envenenamiento. Es por ello la inquietud de captar la presencia de dichos gases.

La deficiencia de oxígeno es mortal en un ser humano, ya que el aire contiene normalmente 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno y otros gases, y si la cantidad de oxígeno se reduce a un 13% puede producir asfixia en el hombre.

Los lugares donde es frecuente la presencia de gases son: pozos de sumidero, pozos de succión de las bombas y cámaras cerradas de los desarenadores, tales vapores llegan de la alcantarilla y se acumulan en los sitios lejanos.

La localización oportuna, de gases que puedan provocar un accidente, puede salvar muchas vidas, y es fundamental saber aplicar los primeros auxilios.

La seguridad en cuanto al cloro ya se mencionó en el capítulo 7.

10.4 Hidráulica y electricidad

La hidráulica es la rama de la ciencia que estudia los fluidos en reposo y en movimiento. De los primeros trata la hidrostática y de los segundos la hidrodinámica.

En el presente trabajo nos referimos a las aguas o aguas negras, usualmente moviéndose o fluyendo por tuberías, canales y bombas y a los medios para la medición el gasto.

Por la importancia que tiene el sistema métrico decimal en la hidráulica se mencionarán en seguida las unidades más empleadas:

Longitud, en metros	m
Superficie, metros cuadrados	m ²
Gasto, metro cúbicos por segundo	m ³ /s
Peso, kilogramos, un metro cúbico de agua pesa	1000 kg
Un litro de agua pesa	1.0 kg
Velocidad de flujo, metros por segundo	m/s

Las bombas hidráulicas se usan para mover líquidos de un nivel a otro más alto, y algunas veces simplemente para incrementar el gasto. Debemos recordar que un líquido en reposo, la presión en cualquier punto es igual al peso del líquido sobre el líquido, más el peso de la atmósfera sobre la superficie del líquido, ambos expresados en las mismas unidades. Estas unidades son usualmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), y pueden también ser expresadas en metros de agua.

La presión en metros es usualmente llamada carga o potencial hidráulico, y se calcula como:

$$\text{kg/cm}^2 \times 10 = \text{carga en metros}$$

En las figuras 10.1 y 10.2 se muestran dos tipos de problemas de bombeo, donde intervienen diferencias de presión donde la carga total para la figura 10.1 sería:

$$H = h_{st} + h_{fs} + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

y para la figura 10.2 será:

$$H = h_d + h_s + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde:

H = Carga total, en metros a la cual la bomba opera.

h_d = Carga de descarga estática, en metros, y es la diferencia vertical entre la referencia de la bomba y la superficie del líquido en el tanque receptor.

h_s = Carga estática de succión o altura de aspiración, en metros, o distancia vertical entre la referencia de la bomba y la superficie del líquido en el pozo de succión.

h_{fd} = Carga por fricción, en la descarga, en metros, o la carga necesaria para vencer la fricción en válvulas uniones, etc. en la tubería de descarga.

h_{fs} = Carga de fricción en la succión en metros.

$\frac{V_d^2}{2g}$ y $\frac{V_s^2}{2g}$ = Son cargas de velocidad, en metros, en las boquillas de descarga y succión, respectivamente, de la bomba. Cuando las boquillas son del mismo diámetro estos valores son iguales y se anulan, es la carga requerida para dar al líquido la velocidad "V" en metros por segundo.

Los valores de la fricción (h_{fd} y h_{fs}) dependen de la longitud de la tubería, su diámetro, la velocidad del líquido y las condiciones de las paredes internas del tubo, este último llamado factor de rugosidad.

Las pérdidas se calculan como:

$$h_f = \text{Carga por fricción} = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

f = Factor de rugosidad o aspereza

L = Longitud de la tubería

d = Diámetro

$V^2/2g$ = Carga de velocidad.

En cuanto a la potencia para el bombeo, se refiere al trabajo que se debe realizar para mover el líquido contra la carga total (H). Las unidades de trabajo son kg m, que es la cantidad de trabajo o energía que se requiere para elevar un kilogramo a la distancia vertical de un metro. La unidad común de fuerza o relación de trabajo hecho, es el caballo de fuerza (horse power: hp) que equivale a 4,562 kg m por minuto.

La potencia requerida para mover una bomba puede calcularse como:

$$Whp = \frac{l/m \times H}{4,562}$$

No toda la fuerza desarrollada por el motor puede ser convertida en trabajo útil, la relación entre la energía aprovechada y la suministrada es llamada rendimiento o eficiencia de la bomba, por tanto la potencia efectiva será:

$$bhp = \frac{l/m \times H}{4,562 \times \text{eficiencia de la bomba}}$$

Y como el motor no es 100% eficiente la potencia real será:

$$bhp = \frac{l/m \times H}{4,562 \times \text{ef. de la bomba} \times \text{ef. del motor}}$$

Otro concepto de hidráulica es el flujo en canales abiertos y en tubos parcialmente llenos, como las alcantarillas, y es afectado por aquellos mismos factores que operan para los tubos completamente llenos. Son estos factores combinados los que determinan la pendiente a la que debe construirse un canal abierto, o un drenaje, para mantener un cierto flujo a la mínima velocidad. Esta

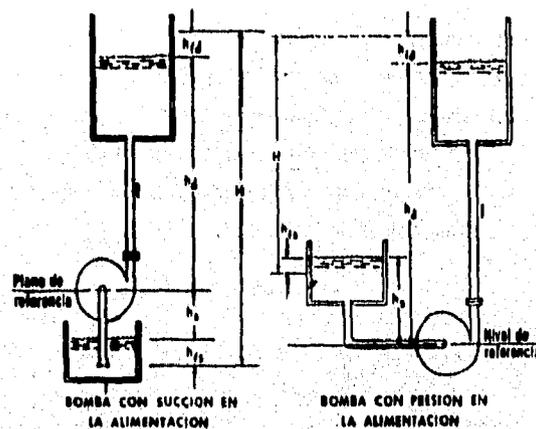


Fig. 10.1 y 10.2 Esquemas de problemas de bombeo

pendiente que determina la velocidad es realmente la pendiente de la superficie del agua, y también es la pendiente dada a la tubería, de tal manera que el agua fluye a una velocidad constante.

La pendiente de la superficie del agua se llama gradiente hidráulico.

La fórmula de Chezy para el cálculo de la velocidad en un canal abierto es:

$$v = C\sqrt{rs} \quad \text{en metros por segundo}$$

Donde:

C = Coeficiente basado en la rugosidad, la pendiente y el valor de r.

r = Radio hidráulico y se calcula como:

$$r = A / W$$

Donde:

A = Area de la sección

W = Perímetro mojado. Figura 10.3

s = Pendiente del gradiente hidráulico expresada usualmente en metro por metro o metro por mil. Por ejemplo una pendiente de 0.004 indica una pendiente de 4 metros en mil metros de longitud.

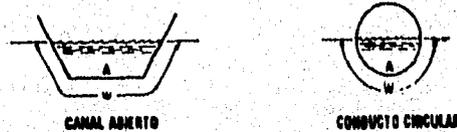


Fig. 10.3 Radio hidráulico

La determinación de C, es por medio de las fórmulas de Kutter y Manning y dependen del valor de "n" que es el coeficiente de fricción, que varía según la superficie y el material con que este construido el canal. Un "n" igual a 0.013 es usado para el diseño de aibañales de barro vitrificado, y alcantarillas con tubos de concreto precolado de gran diámetro.

Por otro lado para la medición del gasto en las plantas de tratamiento son usados principalmente los siguientes métodos:

- Vertedores
- Medidores de Venturi
- Canales de Parshall

Los vertedores consisten en una placa con escotadura rectangular o en forma de V, con los bordes afilados colocado verticalmente en tal forma que el flujo pase y caiga libremente.

El medidor de Venturi es un medidor de gasto que se instala en tuberías y consiste en un estrechamiento de garganta cuidadosamente calibrado, a un diámetro determinado, una sección de tubería convergente con el diámetro del estrechamiento y una sección divergente del diámetro de la tubería. Un medidor de Venturi se muestra en la figura 10.4.

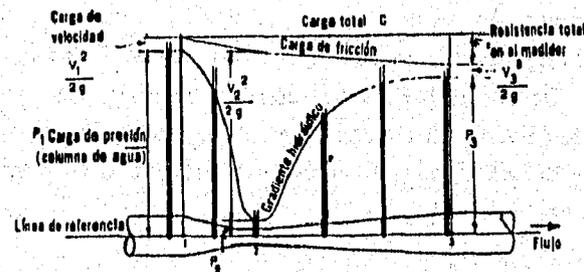


Fig. 10.4 Principio del medidor de Venturi

El canal de Parshall, es un tipo de medidor de gastos que fue ideado para mediciones para irrigación en canales abiertos donde puede haber mucho escombros y donde se pueden tolerar pequeñas pérdidas de carga.

En cuanto a la electricidad existen algunas semejanzas con respecto a los fluidos, por ejemplo en las siguientes unidades de medida:

Presión	Kg/cm ² (o metros de agua)	Fuerza electromotriz (fem, E ó voltis)
Gasto	l/s	Amperio (amp)
Resistencia al flujo	Pérdidas de carga en metros	resistencia (Ohmios)
Cantidad	litros	Kilovatio hora (KWH)

Los voltajes standares han sido 110, 220, 240, 2200 y 13200. En las plantas de tratamiento rara vez se excede de 440, y los más elevados suelen usarse para las lineas alimentadoras.

Los altos voltajes requieren un equipo apropiado que impida las fugas (corto circuito) y quede dentro de las normas de seguridad.

Deberá usarse equipo adecuado al voltaje suministrado. Si el voltaje medio para alumbrado es de 120 voltios, deben usarse lámparas de 120 y no de 110 voltios, ya que las primeras durarán tres veces más que las de 110 voltios.

El amperio (Amp) expresa en electricidad el gasto tal como los l/s, expresan el gasto de agua. En las ecuaciones se expresa por la letra I. Se requieren alambres de gran calibre para amparajes elevados a fin de disminuir las pérdidas por resistencia en la transmisión ya que éstas causan una caída de voltaje.

Algunos accesorios como alambres, fusibles e interruptores están clasificados de acuerdo con la corriente que pueden soportar con

seguridad. Ya que si se sobrecargan se produce un sobre calentamiento, se quemán y pueden causar un incendio.

El ohmio es la unidad de resistencia eléctrica y se expresa por R. Así como la resistencia de una válvula detiene el flujo del agua, así la resistencia se presenta como un no-conductor, tal como un aislador, o un interruptor en aire, que puede ser un interruptor abierto, y que impide el flujo de la corriente eléctrica.

En los circuitos eléctricos, la pérdida de voltaje, es proporcional a la resistencia y al flujo de la corriente, de este modo tenemos que la Ley de Ohm es:

$$E = R I$$

Los valores de la resistencia R por unidad de longitud y para conductos de diversos tamaños y materiales se encuentran en los manuales.

La expresión $E = R I$ es para corrientes que fluyan en una sola dirección y se conocen como corrientes continuas (CC). Si fluyen primero en una y después en otra dirección, se le llama corriente alterna (CA); y al número de veces que fluye en cada dirección, en un segundo, se le conoce como frecuencia o número de ciclos.

Los transformadores se usan para aumentar o disminuir el voltaje y la corriente, y consisten en dos bobinas estacionarias de alambre, aisladas una de otra, pero arrolladas al rededor de un mismo núcleo de hierro.

El Kilovatio hora es la unidad del gasto de electricidad. es la potencia media requerida en KW multiplicada por el tiempo, en horas, que dura el suministro.

Existen circuitos monofásicos y trifásicos: los primeros pueden ser de dos o tres hilos, el de dos hilos es más sencillo y el de tres hilos puede suministrar dos voltajes. Los circuitos monofásicos son como los que se muestran en la figura 10.5.

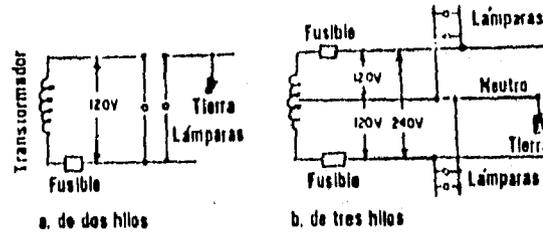


Fig. 10.5 Circuitos monofásicos

El sistema trifásico (tres hilos) es el standar para motores, excepto cuando son de una fracción de hp. Hay dos diferentes sistemas: En delta y en "Y", como se muestran en la figura 10.6.

A menos que las cargas de los motores sean pequeñas y la puesta en marcha no sea frecuente, es mejor separar los circuitos de fuerza y de alumbrado para evitar el desvanecimiento de las luces cuando se ponen en marcha los motores.

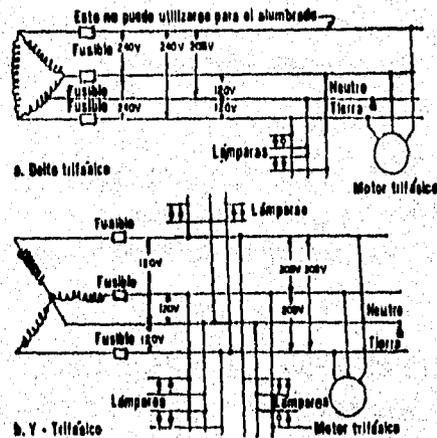


Fig 10.6 Circuitos trifásicos Delta y Y.

La protección de los circuitos es proporcionada por los fusibles, que consiste en un alambre o cinta de una aleación especial, diseñados para fundirse a un máximo de corriente y encerrados en una caja de tipo especial resistente a la llama.

La conexión a tierra es de suma importancia debiendo ser permanente y sin quedar desconectada. Protegen la vida humana y la propiedad, y sin ella los sistemas eléctricos no deberán trabajar.

Motores: La mayor parte de los motores de corriente alterna son, o bien del tipo inducción o del tipo síncrono.

La velocidad del motor síncrono se determina como:

$$N = 120f / P$$

Donde:

N = Revoluciones del motor, por minuto (rpm).

f = Frecuencia

P = Número de polos

Los motores síncronos tienen un bajo par de arranque, que los hace poco satisfactorios para diversas cargas.

Los motores de inducción, no tienen polos salientes, que necesiten excitación y pueden girar a velocidades variables. Requieren una corriente de arranque relativamente pequeña, estos son mejores que los motores síncronos.

La potencia del régimen de los motores está basado en la elevación de la temperatura que experimenta al funcionar continuamente a plena carga normal y con el voltaje apropiado, la elevación de la temperatura está limitada usualmente a 40 ó 45 °C. Un motor puede girar y estar caliente al tocarlo y estar dentro de su régimen de seguridad.

CAPITULO 11

Necesidad de procesos avanzados de tratamiento

Objetivo: Al terminar el estudio de este tema el alumno explicará la necesidad de procesos de tratamiento avanzado.

CAPITULO 11

NECESIDAD DE PROCESOS AVANZADOS DE TRATAMIENTO

11.1 Necesidad de remoción adicional de impurezas

El tratamiento terciario, se define así, porque generalmente se aplica a los efluentes de los tratamientos secundarios para lograr un mejor grado de calidad del agua, de acuerdo al uso que se le quiera dar. Los procesos más comunes son: adsorción con carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa y desinfección; otros tratamientos también importantes son: electrodiálisis y ultrafiltración. Estos tratamientos no son exclusivamente terciarios también se aplican como tratamiento único en los casos que así lo requieran.

El tratamiento terciario generalmente se aplica para remover sustancias inorgánicas disueltas como son los metales pesados y sales minerales. En el caso de la adsorción con carbón activado se aplica a la remoción de compuestos orgánicos resistentes a la oxidación en el tratamiento secundario. La desinfección es un tratamiento que puede ser único, o terciario y se aplica a los efluentes secundarios como ya vimos en el capítulo siete.

La precipitación química también se usa como tratamiento terciario, principalmente cuando se trata de obtener agua de buena calidad para abastecer a la industria.

Es cierto que un tratamiento secundario proporciona mediante el proceso biológico, agua de buena calidad para su vertimiento en la mayoría de los cuerpos receptores, o para poder darle un reúso; pero existen otras necesidades como son: la saturación de la capacidad de dilución y asimilación de contaminantes en los cuerpos receptores, la demanda de agua de segundo uso para fines que requieran mayor calidad y la preocupación por la recirculación de contaminantes tales como metales pesados, compuestos orgánicos exóticos y organismos patógenos; es por esos que existe la necesidad de procesos de tratamiento que remuevan los contaminantes que permanecen en el agua después de haber recibido un tratamiento secundario.

Por otro lado, debido a la demanda de agua potable ocasionada por la población creciente en la ciudad, en los años ochenta, se tuvo como consecuencia la sobre explotación del acuífero; otra dificultad que se presenta la ocasiona la ubicación de la ciudad de México, que está a más de dos mil metros sobre el nivel del mar; ya que hay que recurrir a fuentes cada vez más lejanas de abastecimiento, esto hizo impostergable realizar un proyecto de tratamiento más avanzado de agua residual, que hiciera posible la recarga del acuífero.

El desarrollo de las tecnologías de tratamiento deben estar encaminadas a diversificar el uso del agua residual tratada de elevado nivel de calidad, con el fin de aplicarlo a la recarga del acuífero, y frenar el hundimiento a largo plazo.

Era necesario efectuar la determinación de las tecnologías necesarias para lograr un proceso de tratamiento avanzado, pues, con bases sólidas se puede tener la experiencia práctica a escala reducida.

Esto es en cuanto a la ciudad de México, pero en cualquier parte del país impera la necesidad de hacer del agua tratada, un agua confiable para ser usada con calidad potable.

A lo largo de los últimos años, el tratamiento avanzado del agua residual ha experimentado una gran expansión.

El rendimiento de las operaciones y procesos de tratamiento avanzado del agua residual depende de la concentración y de las características del agua residual.

Con el uso del agua tratada se han liberado volúmenes importantes de agua potable que se hacían indispensables para otros usos prioritarios.

11.2 Procesos de tratamiento avanzado disponibles

De acuerdo con las demandas de agua de mejor calidad mencionadas anteriormente, el propósito del tratamiento avanzado comprende aquellas técnicas que se utilizan para reducir los componentes del agua residual a valores inferiores a los obtenidos por medio del tratamiento secundario.

Tales componentes pueden ser:

- Nutrientes como el nitrógeno y el fósforo
- Compuestos que ocasiona olor, color y turbiedad
- Compuestos orgánicos que causan demanda de oxígeno
- Sales orgánicas
- Compuestos orgánicos dañinos a la salud
- Organismos patógenos

El proceso que realmente vino a hacer posible el tratamiento avanzado fue el de la filtración. Los avances logrados, como la llamada filtración profunda ha diferencia de la filtración superficial convencional en medios granulares, permitió incrementar la carga superficial sobre el filtro aún con agua residual tratada. Esto se logró con la introducción de lechos

mixtos de materiales de diferente peso específico que permite la colocación de los materiales de manera que se tenga una porosidad que disminuya en el sentido del flujo.

Una vez logrado éste avance, fue posible incorporar al tratamiento de aguas residuales los procesos ya existentes para el tratamiento de aguas y desarrollar nuevos procesos para resolver demandas específicas del agua residual.

Los procesos que se usan actualmente remueven casi totalmente los compuestos mencionados anteriormente y se pueden clasificar como sigue:

- Remoción de fósforo
- Remoción de nitrógeno
- Remoción de sólidos suspendidos
- Remoción de materia orgánica soluble
- Remoción de sólidos disueltos
- Remoción de organismos patógenos

Remoción de fósforo: El fósforo puede presentarse en el agua residual en tres formas: ortofosfato, polifosfato y fósforo orgánico.

a) Remoción biológica: El tratamiento biológico convencional remueve parte del fósforo presente en el agua al incorporarlo al tejido de los microorganismos. Se han obtenido remociones del orden de 95%, pero el proceso tiene una variabilidad que lo hace poco confiable.

b) Remoción biológica-química: En este proceso la remoción se logra en el mismo tratamiento secundario adicionándole sales de hierro o aluminio en el tanque de aireación. Este tratamiento da buenos resultados cuando la concentración de fósforo que se requiere no es menor de 1 mg/l. Este proceso produce además un efluente con menor turbiedad, color y sólidos suspendidos que el tratamiento secundario convencional.

c) Remoción físico-química: En este proceso la remoción del fósforo se realiza mediante la adición de cal, sulfato de aluminio o sales de hierro. La remoción que se logra es del 95 al 98 % de fósforo. Este proceso

tiene la ventaja de remover además del fósforo, sólidos suspendidos, materia orgánica, mejora el aspecto del agua, reduce el contenido de organismos coliformes, de virus y de metales pesados.

Remoción de nitrógeno:

a) Remoción biológica: Este proceso consiste en la oxidación de los compuestos nitrogenados presentes en el agua residual a nitratos en condiciones aeróbicas. Una vez lograda esta oxidación, los nitratos pueden reducirse a nitrógeno gas. Este proceso a probado ser efectivo sin embargo la operación del proceso ha resultado ser complicado por tratarse de dos sistemas biológicos en serie. En México este sistema puede funcionar mejor, ya que funciona mejor en altas temperaturas que a las bajas.

b) Cloración al punto de quiebre: Este proceso consiste en aplicar una dosis de cloro tal que los compuestos nitrogenados se oxiden hasta formar nitrógeno gas. El proceso es confiable con una eficiencia del 99% y tiene la ventaja adicional de oxidar materia orgánica y de desinfectar el agua. Su principal desventaja es el costo, ya que por 1 mg de nitrógeno amoniacal necesita 9 mg de cloro, además de producir compuestos cerrados tóxicos que pueden disminuir la utilidad del agua.

c) Desorción de amoníaco: Este proceso consiste en la elevación del pH a un nivel tal que todo el nitrógeno amoniacal presente en el agua se convierta en amoníaco para posteriormente disiparlo a la atmósfera. Este proceso resulta muy efectivo en climas cálidos. Cuando se utiliza después de un proceso de coagulación con cal su costo es muy bajo.

d) Intercambio iónico: Es un proceso en el que los iones que mantienen a los grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de diferentes especies en solución. Este proceso ha incrementado su importancia en el campo de tratamiento de aguas residuales.

Para la remoción del nitrógeno amoniacal se utiliza una resina de intercambio selectiva natural conocida como clinoptilolite. Cuando se agota la capacidad de intercambio de la resina, la concentración iónica del efluente de la columna excede el valor especificado y la resina debe

regenerarse. Previa a la regeneración la columna debe lavarse para eliminar depósitos sólidos.

La regeneración consiste en pasar a través de la columna una solución salobre (sales alcalinas, neutros de sodio o sales de calcio).

Para la regeneración en el proceso de remoción del nitrógeno por intercambio iónico, se utiliza salmuera. El amoníaco puede extraerse de la salmuera con ácido sulfúrico para producir sulfato de aluminio que sirve como fertilizante. El proceso es simple y efectivo. El principal problema en la operación es la extracción del amoníaco de la salmuera.

Remoción de sólidos suspendidos:

a) Coagulantes químicos: La coagulación es una técnica química cuyo objetivo es desestabilizar a las partículas coloidales. La función fundamental del coagulante, consiste en suministrar iones fuertemente cargados capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte de la materia coloidal existente en el agua y provocar su precipitación.

La adición del coagulante cumple dos funciones: acelera el asentamiento de materia en suspensión y permite velocidades de filtración más altas no obtenibles con éxito por otros métodos.

Los coagulantes empleados incluyen la cal, aluminio, hierro y los polímeros. La eliminación posterior de los sólidos puede efectuarse en unidades de contacto o tanques normales de sedimentación.

Los coagulantes metálicos juegan también su papel en la eliminación del fósforo y por lo tanto pueden ser utilizados para ambas finalidades en los tratamientos avanzados.

Este proceso es adecuado para la remoción de sólidos, sin embargo los resultados son similares a los obtenidos con filtración a un costo mayor principalmente por el manejo del lodo producido.

b) Filtración: Es el proceso más efectivo para la remoción de sólidos. Los filtros de medio mezclado han resultado los más efectivos. La filtración puede mejorar con la adición de polímeros, es un proceso económico. El agua de lavado se recircula a la entrada de la planta.

c) **Microtamices:** Concisten en unos tambores que giran, alrededor de un eje horizontal, situados dentro de un tanque rectangular. El agua residual se introduce por el interior del tambor y pasa de adentro a fuera dejando los sólidos en la cara interior del tamiz, cuyas aberturas oscilan entre 23 y 60 micrones. Los sólidos retenidos son separados por medio de un chorro pulverizado a alta velocidad. Los parámetros de diseño son: el tamaño de la abertura, la submergencia, la pérdida de carga permisible y la velocidad periférica.

La utilización de éstos medios mecánicos de filtración ha dado resultados que no son comparables a los obtenidos con otros procesos debido a su baja eficiencia.

Remoción de materia orgánica soluble:

a) **Carbón activado granular:** Este proceso consiste en la adsorción de los compuestos orgánicos presentes en el agua por medio de carbón activado.

El proceso es eficiente, confiable, y comparado con los resultados que se obtienen económico.

La adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando una superficie se pone en contacto con una solución. Una capa de moléculas del soluto se acumula en la superficie del sólido debido a fuerzas superficiales desbalanceadas.

En el interior del sólido las moléculas están completamente rodeadas por moléculas similares y por lo tanto están sujetas a fuerzas balanceadas. Las moléculas de la superficie están sujetas a fuerzas desbalanceadas debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente fuertes, pueden aprisionar moléculas de un soluto que esté en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina adsorción física o de Van der Waals.

El sólidos como el carbón activado en éste caso, se denomina adsorbente y el soluto que se adsorbe es el adsorbato.

Los carbonos activados tienen una gran aplicación como adsorbentes en plantas potabilizadoras de agua para eliminar sabores y olores causados por compuestos orgánicos. En el tratamiento de agua

residual se aplica el carbón activado únicamente cuando se desean lograr efluentes de alta calidad.

El carbón activado se prepara con materiales carbonosos crudos como lana, lignita, carbón y cáscara de nueces, mediante un proceso de activación térmica que permite obtener una estructura muy porosa con grandes superficies.

La gran ventaja del carbón activado como adsorbente es que permite la posibilidad de su reactivación (hasta 30 veces o más) sin pérdida apreciable de su poder adsorptivo. Usualmente se reactiva calentándolo a temperaturas de 930 °C en una corriente de aire atmosférico. Los compuestos orgánicos se queman y el carbón activado se restablece básicamente a su capacidad inicial de adsorción.

En la práctica, la operación de la adsorción con carbón activado puede ser mediante un sistema intermitente o continuo. En el sistema intermitente el carbón activado se mezcla con el agua residual y se deja reposar, posteriormente se separa y se obtiene el agua tratada. La operación continua se realiza con columnas empacadas con carbón activado (40 a 80 mallas), este método es más económico que la operación intermitente.

El diseño de las columnas de contacto debe realizarse a partir de pruebas de adsorción para definir la isoterma de diseño.

Las relaciones de equilibrio entre el adsorbente y el adsorbato se describen como isotermas de adsorción.

b) Osmosis inversa: Aún cuando el objetivo principal de este proceso es la remoción de sales, las membranas utilizadas producen una remoción considerable de materia orgánica, turbiedad y organismos patógenos. Este proceso tiene gran futuro sobre todo para la remoción de compuestos orgánicos tóxicos.

Remoción de sólidos disueltos:

a) Intercambio iónico: Este proceso es muy usado en la industria para el tratamiento de agua de calderas y de agua de proceso. Generalmente se utilizan dos lechos de resinas. Una para la remoción de

aniones y otra para la remoción de cationes, aún cuando existen procesos que utilizan medios mezclados. Las eficiencias de remoción son superiores a 90% del contenido de iones. Este proceso no se utiliza mucho en tratamiento avanzado debido a que el proceso es muy selectivo a las ventajas que presenta la ósmosis inversa.

b) Electrodialisis: Este proceso se ha usado para la producción de agua potable a partir de aguas salobres. El proceso consiste en promover la migración de los iones presentes en el agua a través de membranas bajo la influencia de una corriente eléctrica.

Los problemas relacionados con el proceso de la electrodialisis para la renovación del agua residual incluye la precipitación química de sales de poca solubilidad en la superficie de la membrana y la obstrucción de ésta por la materia orgánica coloidal residual en los efluentes de las plantas de tratamiento. Para reducir la obturación de las membranas convendrá efectuar un pretratamiento con carbón activado, posiblemente precedido por precipitación química y alguna forma de filtración con medio múltiple.

c) Ósmosis inversa: Cuando se coloca una membrana semipermeable entre dos cuerpos de agua que tienen diferentes concentraciones salinas, se crea un flujo de agua desde la zona de menor a la mayor concentración. Este flujo puede ser anulado aplicando una presión de igual valor que la osmótica de la solución concentrada y, si se aumenta esta presión, se puede invertir la dirección del flujo. Los sistemas de ósmosis inversa están constituidos por la membrana, una estructura soporte, un recinto de presión y una bomba.

En el tratamiento de aguas residuales por ósmosis inversa, el influente contaminado se pone en contacto con una membrana adaptable a una presión que exceda a la presión osmótica de la solución. Bajo ciertas condiciones el agua penetra a la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua de desecho. Este concentrado, que corresponde a una pequeña cantidad del volumen total del agua residual a tratar, se desecha. El agua purificada se obtiene en el otro compartimiento.

En la práctica el proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo en un sistema tubular. El flujo de aguas residuales a alta presión para a través de un tubo interno hecho de una membrana semipermeable y diseñado para operar a altas presiones, el agua purificada se obtiene en el tubo extremo, el cual se encuentra a presión atmosférica y está hecho de material ordinario.

Muchos materiales naturales tienen características semipermeables. Se han usado materiales como colodión, celofanes, vidrio poroso, vidrio finamente picado, precipitados orgánicos como ferrocianuro de cobre, zinc y fosfatos de uranio. Las membranas de acetato de celulosa (membranas AC) son la que han dado mejores resultados.

El flujo que pasa a través de la membrana depende de:

- Características físicas de la membrana (espesor, composición química y porosidad).
- Condiciones del sistema (temperatura, presión diferencial a través de la membrana, concentración de sal y velocidad de alimentación).

La obstrucción de la membrana causa la reducción temporal del flujo, se debe a materiales que se depositan en la membrana, ya que solamente las sustancias con uniones de hidrógeno (agua, amoníaco) pasan a través de los poros de la membrana.

La ósmosis inversa resulta todavía muy cara para utilizarla ampliamente en tratamientos de agua. Su uso en el tratamiento de aguas residuales está limitado a que los sólidos suspendidos tapan las membranas, en este caso requieren de un tratamiento previo, lo cual elevan los costos de operación.

Las presiones a las cuales trabaja son de 600 a 1500 psi (Libras por pulgada cuadrada), uno de los mayores éxitos ha sido el desarrollo de mejores membranas que pueden operar a bajas presiones (al rededor de 230 psi) dando velocidades del producto relativamente altas, del orden de 40 gal/día pie². Una vez que estas dificultades hayan sido

superadas, la ósmosis inversa llegará a ser un proceso de gran aplicación en el tratamiento del agua.

d) Destilación: Este procedimiento se utiliza principalmente para la desalación del agua de mar, sin embargo en el tratamiento de aguas residuales tiene la desventaja de que los compuestos orgánicos son arrastrados en el destilado y aparecen en el efluente de la planta.

Remoción de organismos patógenos:

a) Desinfección: Los productos químicos que han sido empleados como desinfectantes incluyen:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1) Cloro y sus compuestos | 7) Metales pesados |
| 2) Bromo | 8) Colorantes |
| 3) Yodo | 9) Alcoholes |
| 4) Ozono | 10) Compuestos cuaternarios |
| 5) Fenoles y compuestos fenólicos | 11) Peróxido de hidrógeno |
| 6) Jabones y detergentes | 12) Varios ácidos y alcalis |

De estos compuestos los desinfectantes más comunes, son los productos químicos oxidantes y de ellos, el cloro es el más usado. El ozono se considera como un desinfectante altamente efectivo y su uso va en aumento; tiene varias ventajas entre las que se encuentran:

- Desinfección extremadamente rápida: 4min y pequeñas dosis.
- No tiene efecto el pH del agua.
- No reacciona con el amoníaco.
- Evita la formación de compuestos clorados.
- Remueve mucho olores y sabores.
- Deja oxígeno en el agua.
- Se analiza con facilidad.
- Ocupa poco espacio.

Entre sus desventajas esta:

- No deja residual
- Existe experiencia limitada en América
- Más cara que el cloro
- Tiene baja solubilidad en el agua

Radiación: Este método de tratamiento ha tomado gran auge en los últimos años, pues los trabajos de laboratorio han demostrado que es un efectivo desinfectante que no incluye ninguna radiación residual; elimina bacterias, virus, esporas y afecta a los huevecillos de parásitos disminuyendo su reproducción. Reduce la cantidad de sólidos orgánicos, suspendidos, detergentes, fenoles nitritos; también disminuye los olores de las aguas residuales tratadas. Hasta el momento sus desventajas son:

- No tiene efecto residual en el efluente tratado
- El costo es elevado

Los principales tipos de radiación son electromagnéticos, acústicos y de partículas.

Con respecto a los demás desinfectantes ya se mencionó su función en el capítulo siete.

A continuación hablaremos de lo que es la decloración.

La decloración consiste en la remoción del cloro residual total que permanece después de la cloración. Se aplica para reducir al mínimo los efectos de los compuestos residuales clorados potencialmente tóxicos sobre la biota y los usos benéficos de los cuerpos receptores a los que se descargan los efluentes clorados. En la actualidad el agente más empleado es el bióxido de azufre. Se han empleado también carbón activado, sulfito de sodio y metabisulfito de sodio.

Cada proceso para la remoción de organismos patógenos, presenta ventajas y desventajas, por lo que es indispensable estudiar con todo detalle el uso final de las aguas tratadas para seleccionar el mejor método de desinfección.

En la Ciudad de México, en el año de 1983 se construyó una instalación experimental de tratamiento avanzado de aguas residuales en el Cerro de la Estrella, con lo que es factible identificar la secuencia de los procesos adecuados para un tipo de agua en particular, en función del uso que se le quiera dar.

Esta Planta tiene como objetivo producir agua con calidad física, química y biológica (FQB), similar a la potable, para ser inyectada al acuífero y determinar si la tecnología disponible en México permite producir tanto el equipo necesario para efectuar los distintos procesos unitarios, como el instrumental para el control hidráulico y analítico del proceso.

La selección de los procesos para el tratamiento avanzado se realizó a partir de los resultados de un programa de monitoreo efectuado en 15 sitios del Sistema de Drenaje y determinando un total de 152 parámetros, entre ellos metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos.

El diseño de la unidad experimental de tratamiento avanzado nueve etapas y procesos unitarios que mediante su interconexión, permiten simular diferentes secuencias: remoción de detergentes, precipitación química, desorción, recarbonatación, filtración en medio dual, adsorción en carbón activado, ozonización, ósmosis inversa y desinfección.

Esta secuencia de tratamiento fue seleccionada para mover los contaminantes característicos en el efluente de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella: nutrientes, detergentes, metales pesados, bacterias, virus y compuestos orgánicos sintéticos entre otros.

En el laboratorio de la instalación experimental se obtienen los parámetros que permiten efectuar el control de los procesos involucrados con la secuencia.

Además se hizo la simulación de la recarga artificial por infiltración, con el propósito de identificar los cambios de calidad que experimenta un agua tratada a nivel secundario, se habilitaron tanques empacados con diferentes tipos de suelos cuya operación y sus resultados aportan información básica para el proyecto piloto de recarga artificial que se ha previsto en la zona de iztapalapa.

El diagrama general de flujo de ésta planta se presenta en la figura 11.1.

La necesidad de evaluar los riesgos a la salud por el uso de las aguas renovadas a diferentes niveles de calidad, determinó la creación de un área experimental en la que se utilizaron organismos vivos cuya respuesta al contacto con el agua residual tratada constituye una valiosa información. En las primeras etapas se utilizaron truchas Arcoiris que son consideradas como organismos sensibles a las alteraciones de la calidad física, química y biológica del agua obteniéndose resultados indicativos para las pruebas de toxicidad aguda y crónica.

En la Tabla 11.1 se presentan las descripciones del proceso avanzado y su secuencia.

La unidad experimental Cerro de la Estrella constituye una herramienta de gran valor para apoyar el desarrollo del Plan Maestro para el Tratamiento y Reúso del Agua estructurado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH).

Tabla 11.1. Descripciones del proceso avanzado y su secuencia.

Proceso	Propósito	Descripción	Variablas de Operación	Eficiencias de Remoción Alcanzadas
Despumación	Remoción de detergentes	Cámara vertical con inyección de aire comprimido	Relación Gasto de aire-gasto de agua. Tiempo de retención. tirante de agua.	85 % de SAAM
Tratamiento químico	Precipitación de fósforo y metales pesados	Procesos de clarifloculación con sedimentación de alta tasa	Gradientes de velocidad, secuencia y dosificación de reactivos, tiempos de retención.	90 % de fosfatos
Desorción	Remoción de nitrógeno amoniacal.	Dos columnas empacadas con medios sintéticos modulares y sistemas de extracción de aire	Relación de aire de gasto-aire de agua. Altura del empaque (operación en serie o paralelo), tipo de empaque.	95 % de nitrógeno amoniacal
Filtración	Remoción de sólidos suspendidos y remanentes de materia orgánica	4 columnas empacadas con arena, antracita y grava, operan con tasa constante o declinante	Carga hidráulica superficial, pérdidas de carga. Duración de la carrera, tiempo y caudal de retrolavado.	95 % de sólidos suspendidos.
Ozonación	Oxidación de materia orgánica, desinfección e inactivación de virus.	Generador de ozono y dos columnas de contacto.	Dosis de ozono y tiempo de contacto.	95 % de materia orgánica
Adsorción	Remoción de color y materia orgánica sintética	2 columnas a presión con lecho de carbón activado mineral	Operación serie-paralelo altura de lechos tiempo de retención	90 % color 90 % DQO
Osmosis inversa	Remoción de sólidos disueltos, virus, compuestos orgánicos sintéticos, etc.	4 módulos de membranas de acetato de celulosa. Bomba de alta presión, pretratamiento.	Por ciento de rechazo y recirculación, caudal de operación 200 ml/seg	99 % de sólidos disueltos
Desinfección	Garantizar cloro residual en el efluente, remoción de patógenos.	2 cámaras de contacto, sistema de inyección en línea.	Dosis de hipoclorito de sodio, tiempo de contacto.	99.99 % de coliformes totales.

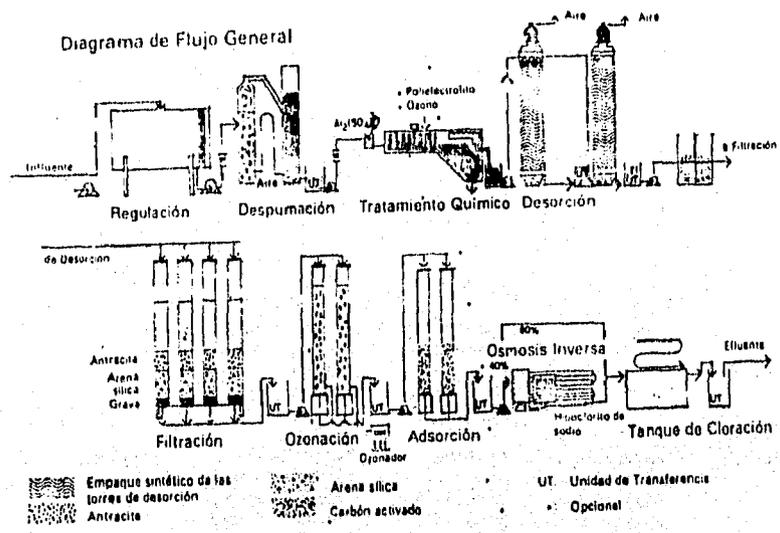


Fig. 11.1 Diagrama general del proceso avanzado

Esta experimentación real ha producido datos de ingeniería básica para diseñar y construir la Planta de Tratamiento Terciario de San Luis Tlaxiáltemalco; con la cual se ha dado un salto en la tecnología del agua tratada, al ponerse en operación en 1989, en Xochimilco, y cuyas características la hacen única en el país.

Dicha planta cuenta con un proceso de tratamiento de espumación, más un tratamiento biológico con lodos activados con

nitrificación y filtración a través de arena y antracita, procesos que permiten obtener un efluente de alta calidad.

Con esta agua tratada de excelente calidad se ha seguido realizando la recarga del acuífero en forma permanente y segura.

La planta de Tratamiento de Aguas Residuales a Nivel Terciario San Luis Tlaxiatemalco, consta de tres módulos de tratamiento que producirá 225 l/s de agua renovada.

Para su diseño se realizaron, en cada una de las partes que la componen, pruebas experimentales con aguas de diferentes fuentes, utilizando los modelos experimentales de tratamiento biológico y avanzado de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) operada desde 1982: así, la planta ofrece una gran confiabilidad en su diseño.

Con esto se incorporó por primera vez a nivel nacional, la etapa de remoción de detergentes. Así mismo el proceso de lodos activados realizados por aereación superficial está concebido para remover adicionalmente nitrógeno amoniacal del agua. Finalmente cuenta con filtro de medio dual (arena y antracita) cuya operación garantiza un efluente con alta calidad. Las características del proceso de esta planta se presentan en la Tabla 11.2.

Tabla 11.2. Proceso de tratamiento avanzado

ETAPA	PROCESO	REMOCION O EFECTO
Preliminar	Cribado Desarenación	Sólidos de gran tamaño Arena y sólidos suspendidos
Primario	Sedimentación Espumación	Sólidos suspendidos, grasas y aceites Detergentes
Secundario	Aereación Sedimentación de alta tasa	Materia orgánica de origen carbonoso y nitrogenado
Terciario	Filtración	Sólidos suspendidos coloidales
Desinfección	Cloración	Bacterias patógenas
Tratamiento de lodos	Digestión Espesamiento Secado	Estabilización de lodos Concentración Deshidratación

realizar sus funciones metabólicas, con lo que mejora la calidad del efluente al disminuir la cantidad de sólidos en suspensión.

El peróxido de hidrógeno se ha utilizado con resultados satisfactorios en las aguas residuales tratadas para dar una mejor calidad al efluente, y de manera más relevante, en el proceso de potabilización del agua que se extrae del acuífero, fundamentalmente de las antiguas zonas lacustres, que contienen minerales como fierro y manganeso.

Mediante el empleo de peróxido, se oxida la materia orgánica y los minerales para su eliminación por medio de sedimentación y filtración.

LA APLICACIÓN DE TULE Y APIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON EL FILTRO DE SUELO CON PLANTAS-PRIMEROS RESULTADOS

El objetivo de este trabajo fue el estudio del comportamiento de un sistema de suelo con tule y suelo con apio, en comparación con un suelo simple en el tratamiento de las aguas residuales pretratadas en un reactor de lechos de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB). En especial se comparan las eficiencias de remoción de DQO, aplicando las cargas hidráulicas de aproximadamente 0.037 m³/m²-d (con una alimentación de 15 horas por día). Las eficiencias de remoción considerando estas cargas hidráulicas fueron de 70.9%, 57.6%, 55.7% para el tule, suelo y apio respectivamente. En cuanto a la eliminación de fósforo, las eficiencias son 37.4%, 34.5% y 23.8% para tule, suelo y apio respectivamente.

Los filtros de suelo con plantas se han estudiado en varios países como una solución variable y económica para el tratamiento de las aguas residuales de asentamientos humanos sin acceso al sistema de drenaje y tratamiento municipal, así como el tratamiento en la industria textil, alimenticia, agropecuaria y similares.

Los filtros con plantas representan sistemas complejos, donde interactúan las propiedades físico-químicas y biológicas de las plantas y el suelo.

Se deben considerar en el diseño:

a) el tipo de planta, su adaptabilidad al suelo y a las características y cantidad de agua residual, la capacidad de evapotranspiración de estas plantas, la transferencia de oxígeno en el sistema radicular y la eliminación de los nutrientes.

b) Las características del suelo. En general Geller (1991) recomienda suelos permeables arenosos y con flujos horizontales.

c) Forma de aplicación, alimentación subterránea o superficial.

Se eligió el tule como una planta de referencia, es una planta perenne, con rizoma de 2 a 3 cm de grosor.

El apio se estudió como una planta de cultivo que requiere de gran cantidad de agua y posee un sistema radicular ramificado de 5-8 cm de largo con un radio de aproximadamente 15 cm, lo que evita una compactación del suelo. Es una planta bianual.

Los cultivos fueron adaptados durante dos meses a las condiciones de humedad saturada del suelo.

Se determinó la DQO dos veces por semana y la concentración de fósforo total esporádicamente. Se midieron el pH y la conductividad como parámetros de control.

Se controlaban los caudales de alimentación con objeto de evitar inundaciones que propician la proliferación de mosquitos y el contacto de las plantas con los microorganismos presentes en el agua residual.

Caracterización del agua tratada:

El pH. mostró en promedio valores en el influente de 8.0, en el efluente del módulo con tule 7.5 y en los otros 7.7.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): la concentración de la DQO en el influente proveniente del UASB era de 117.3 como máximo, 63.1 como mínimo y en promedio de 86.6 mg/l. Estos valores sobrepasan ligeramente la norma existente para el vertido a aguas receptoras en los Estados Unidos cuyo rango es de 80 a 115mg/l. En México todavía no existe un valor límite al respecto.

El fósforo total en el influente se encontraba en un intervalo de 7.9 a 5.4 mg/l. El tule mostró una remoción promedio en concentración de 23%, el suelo de 8% y el apio de 13%. Bajo las condiciones de la carga hidráulica aplicada en este estudio, en donde el suelo es en sí el factor predominante en la remoción de nutrientes. Se aprecia que la vegetación no aprovecha igual fósforo que carbón o nitrógeno. Si se corrigen estos valores por el efecto de la carga hidráulica, se obtiene una deficiencia de remoción en carga de 37% para el tule, 34% para el suelo y 23% para el apio.

Un tratamiento complementario a nivel terciario de filtro de suelo con plantas permite alcanzar los niveles de calidad requeridos. Las eficiencias de remoción de DQO y fósforo observadas en el tule y apio hacen que el sistema sea aplicable para el postratamiento de aguas residuales tratadas por un tratamiento secundario.

Sin embargo, se considera poder llegar a niveles mucho mejores de eficiencia disminuyendo la carga hidráulica.

A futuro se propone evaluar principalmente el comportamiento de este sistema con respecto a remoción de DBO, Nitrógeno total, Fósforo total y coliformes.

TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA:
EVALUACION DEL ARRANQUE DE UN SISTEMA
ANAEROBIO-ANOXICO- AEROBIO

Se presenta el procedimiento de arranque para un sistema avanzado de tratamiento anaerobio-anóxico-aerobio a nivel piloto e industrial para la eliminación de materia orgánica y nitrógeno de agua residual doméstica. El sistema consta de cuatro reactores biológicos conectados en serie y físicamente separados. Se requirió un tiempo de 30 días para alcanzar el estado estacionario en la planta piloto con eficiencias de remoción de nitrógeno y de DQO de 82 y 90% respectivamente.

Los contaminantes más importantes que posee el agua residual doméstica son la materia orgánica cuya descomposición abate el oxígeno disuelto del cuerpo receptor, y nitrógeno que entre otros problemas, provoca en conjunto con el fósforo la eutroficación de cuerpos de agua.

El nitrógeno presente en las aguas residuales proviene fundamentalmente de desechos domésticos y agrícolas (nitrógeno orgánico y amoniacal) y de desechos industriales (nitrógeno inorgánico). Para resolver el problema del nitrógeno existen cinco procesos principales: Nitrificación y desnitrificación biológicas, desorción de amoníaco con aire, intercambio iónico, ósmosis inversa y cloración hasta el punto de quiebre. Los dos procesos más utilizados son el de nitrificación/desnitrificación así como el de desorción de amoníaco con aire, y de estos dos tomando en cuenta consideraciones de carácter económico y ambiental, el más aplicado es el primero.

El sistema biológico de reciente desarrollo en México es el anaerobio-anóxico-aerobio (AAA); éste remueve materia orgánica y nitrógeno en tres diferentes etapas que son la digestión anaerobia, la nitrificación y desnitrificación las cuales están integradas en un tren de

reactores físicamente separados y con biomasa fija lo que hace que el arranque la operación y el mantenimiento sean sencillos.

La diferencia del sistema de tratamiento AAA con otros procesos radica en que la mayoría poseen el sistema de remoción de nitrógeno en lodos activados con zona anóxica, esto genera el uso de sedimentadores y de recirculación de lodo, lo cual eleva el costo del sistema de tratamiento.

El proceso AAA abate considerablemente los costos de operación y mantenimiento al estabilizar la mayor parte de la materia orgánica (80%) por vía anaerobia. Con ello, el consumo de energía y el manejo de lodos se reduce en forma drástica.

En terminos generales, los microorganismos pueden degradar la materia orgánica en condiciones aerobias y anaerobias, en el proceso aerobio se oxidan compuestos orgánicos hasta productos inorgánicos más simples en estructura como CO_2 , NO_3 , NO_2 y SO_4 . En el caso de los procesos anaerobios, la degradación de la materia orgánica forma compuestos tales como CO_2 , CH_4 , H_2S y NH_3 . La diferencia bioquímica fundamental entre los dos procesos es el aceptor final de electrones.

Proceso anaerobio. La bioconversión de la materia orgánica contenida en el agua residual por vía anaerobia, se lleva a cabo por bacterias acidogénicas y metanogénicas. Los compuestos orgánicos son hidrolizados en una primera etapa por bacterias heterótrofas no metanogénicas a azúcares, alcoholes, ácidos volátiles, hidrógeno y bióxido de carbono. En una segunda etapa, los alcoholes y ácidos volátiles que contengan en su estructura molecular más de dos carbonos, son oxidados a ácido acético e hidrógeno por el efecto de bacterias acetogénicas. En la última etapa, el ácido acético y el hidrógeno son transformados a metano por bacterias metanogénicas.

Proceso de nitrificación. La nitrificación es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal en nitratos. Para lograr el máximo estado

de oxidación del nitrógeno se presenta un intermediario en el proceso: el ión nitrito. La reacción se lleva a cabo por medio de bacterias aerobias autótrofas de los géneros Nitrosomas y Nitrobacter.

La oxidación total del amonio requiere de 4.57 mg O₂/mg N. El pH es uno de los parámetros que afectan la nitrificación, se observó un intervalo óptimo de pH entre 7.8 y 9.0. La alcalinidad es consumida durante la oxidación del amonio.

La temperatura y el oxígeno disuelto son parámetros que también afectan la nitrificación. Se ha observado una relación directa entre estos parámetros y la eficiencia de nitrificación. La nitrificación es inhibida con la presencia de sulfuros y altas concentraciones de amonio; de 5 a 10 mg/L de H₂S y de 10 a 130 mg/L de NH₃, respectivamente.

Proceso de desnitrificación. La desnitrificación es la actividad metabólica de bacterias heterótrofas aerobias facultativas que emplean el carbono orgánico como fuente de energía y utilizan los iones nitrito y nitrato como aceptores finales de electrones. Algunas de estas bacterias son las Pseudomonas denitrificans, Micrococcus y Achromobacter.

Resulta interesante señalar que dependiendo del tipo de bacteria presente, la reducción se realiza en dos etapas (NO₃ → NO₂ → N₂) o en una sola. Es necesario evitar la presencia de oxígeno en el medio, pues este elemento inhibe la desnitrificación ya que es un aceptor de electrones preferencial.

La reacción de desnitrificación provoca un incremento en la alcalinidad del medio y el pH óptimo está entre 6.5 y 7.5. La temperatura posee una relación directa con el incremento de la tasa de desnitrificación.

Resultados:

Primera etapa: Tuvo por objeto la puesta en marcha de cada uno de los reactores a nivel piloto. El reactor anaerobio se alimentó con

agua residual proveniente del cárcamo de captación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria. El arranque de este reactor se evaluó con la remoción de DQO soluble cuya eficacia alcanzada fue de 75% en 25 días.

Los análisis efectuados en la fase de arranque para la planta piloto en cada influente y efluente fueron pH, alcalinidad nitratos (NO_3), nitritos (NO_2), nitrógeno amoniacal (NH_4^+) demanda química de oxígeno total y soluble (DQO_t , DQO_s) y carbón orgánico total y soluble (COT_t , COT_s); para la fase de simulación (etapa 2) y para la evaluación de la planta industrial se determinaron los análisis anteriores y se introdujeron los de sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), nitrógeno total Kjeldhal (NTK) y turbiedad.

Segunda etapa: Durante esta etapa, se experimentó con una corriente anaerobia con mayor contenido de nitrógeno amoniacal (50 mg/L).

El flujo de agua residual alimentada tuvo un valor de 0.3 L/min en promedio y la recirculación de 0.6 L/min. La corriente de nitrógeno amoniacal dosificada fue de 500 mg/L y para la de metanol 60 mg COT_s /L; ambas corrientes de ml/min.

Las eficiencias de remoción de nitrógeno y de DQO_s del sistema global fueron del 90%.

Tercera etapa: En esta etapa se reportan los datos obtenidos en el intento de arranque de una planta Anaerobia-Anóxica-Aerobia con una capacidad de tratamiento de 21 m^3 /d. Esta planta está orientada al tratamiento de las aguas residuales de cocina, regaderas y sanitarios generadas en una empresa dedicada a la producción de cubiertos. El agua tratada será reusada en el proceso de producción.

El sistema de tratamiento AAA, puede arrancarse en 30 días con un régimen de alimentación en lotes para reactor nitrificador y en continuo y en forma acoplada del reactor anaerobio y anóxico primario.

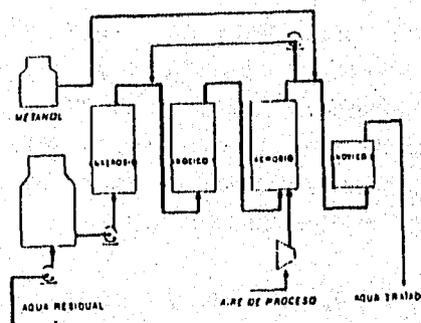
La conexión del segundo reactor anóxico al effluente del nitrificador abate la cantidad de nitrógeno hasta eficiencias superiores al 90% en el effluente final del sistema.

Se aprecia la buena adaptabilidad de la biomasa aerobia y anóxica al tezontle, lo que indica que el uso de este material como soporte de biopelícula es técnicamente factible.

En una planta industrial, deberá contemplarse un inóculo de buena calidad y una supervisión constante del flujo de agua residual alimentado con el objeto de evitar el lavado de biomasa.

Actualmente se han hecho otros experimentos para el tratamiento avanzado del agua residual como son:

- Remoción de metales pesados y nitrógeno amoniacal con zeolita natural.
- Remoción de cromo trivalente en agua por medio de adsorción en carbón activado.
- Capacidad del tezontle para remover cromo hexavalente presente en aguas.



SISTEMA ANAEROBIO-ANOXICO-AEROBIO

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE TESIS

El presente trabajo fue realizado con el fin de que sirva de apoyo como material didáctico, para todas las personas autodidactas que estén interesadas en el tema, y en especial a los alumnos de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de México, y demás instituciones.

Los temas fueron desarrollados con claridad de tal manera que no se necesiten muchos antecedentes para entender y comprender algún tema determinado.

Por otro lado es preciso destacar, que son diferentes los puntos de vista de una profesión a otra, es decir un Ingeniero Civil no tiene el mismo punto de vista de un biólogo o un Ingeniero químico, ya que éstos últimos le darían más importancia, a la química y se olvidarían un poco del diseño de los dispositivos para el tratamiento del agua residual. Es por eso que no se utilizan muchos términos técnicos, claro está que no se le resta importancia a los conceptos fundamentales de la química y de la biología que en verdad son interesantes.

Con este estudio nace el interés de conservar, no sólo tan vital recurso como lo es el agua, sino todos y cada uno de los recursos naturales, la importancia de cuidar el agua es por que cada vez es más difícil su abastecimiento para la ciudad de México, ya que cada vez hay que transportarla de lugares lejanos, y esto eleva su costo.

Nos damos cuenta que es verdad que desde hace ya varias décadas se había tratado de conservar el medio ambiente, porque así lo establece la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos en sus

artículos 27 y 73, pero no se le había dado tanto auge como fue con el surgimiento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA); ya que con esta expedición se empiezan a tomar medidas más rigurosas para la conservación del ambiente, y en realidad es joven esta disposición, y pienso que no debe perder su continuidad para el bien de todos nosotros.

Es importante decir que el desarrollo industrial y urbano del país, ha traído como consecuencia, junto a innegables ventajas en el orden económico y social, graves problemas relacionados con la conservación de los recursos. En el caso particular del agua las cuencas hidrográficas más importantes del país, han sufrido severos daños, que hacen inapropiado o encarecen el uso de este recurso en acuicultura, en riego, para la recreación, para el abastecimiento del agua potable, etc. Es por eso que se han emitido leyes y reglamentos de carácter federal, que tienden a ser más restrictivas.

Es importante destacar que el vertiginoso avance tecnológico ocurrido en los últimos años, permite atacar los problemas del tratamiento de residuos líquidos, municipales e industriales, mediante el enfoque de procedimientos y operaciones unitarias con lo que se logra la unificación de dos áreas que antes se consideraban de manera separada obteniéndose de esta forma una mejor simplicidad y eficacia en el diseño y operación de plantas de tratamiento.

Por otro lado hay que destacar que las aguas residuales se tratan, según el fin al que serán destinadas, ya que no todas las aguas requieren de la misma calidad, esto es importante en cuanto al costo del tratamiento del agua, ya que si el agua no requiere de tanta calidad, únicamente se le puede dar un tratamiento primario, y esto siempre teniendo en cuenta los criterios de calidad del agua.

Es necesario mencionar la importancia que tiene y seguirá teniendo el tratamiento de las aguas residuales, ya que es un área que tiene mucho futuro, por el crecimiento excesivo de la industria y de la población es por ello la importancia de despertar el interés de seguir profundizándose sobre las técnicas y procedimientos modernos para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, para que aplicados dentro del marco de la realidad mexicana y de los compromisos derivados del Tratado de Libre Comercio (TLC), contribuyan al mejoramiento y conservación de la calidad del agua en ríos, lagos y zonas costeras y consecuentemente, al mejor aprovechamiento, de los recursos hidráulicos del país.

El tratamiento de las aguas residuales es todo un proceso interdisciplinario, como lo son todas las obras de ingeniería civil.

Por último es fundamental destacar que los objetivos que se tenían planteados en cada uno de los temas así como el objetivo general del presente trabajo se han cubierto, y con esto se establece la importancia que éste trabajo como material didáctico, ya que contiene todos los elementos necesarios para la comprensión del tratamiento de las aguas residuales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LA ASIGNATURA

El objetivo general de la materia es bueno, pero en sí la conjunción de todos los temas se presentan muy ambislosos, para tan poco tiempo impartido, creo que para ser un tema tan interesante y con tan gran futuro, se debería dividir la asignatura en dos semestres, como Mecánica de Suelos; o por lo menos que se separara el tratamiento de los lodos que son

temas demasiado amplios; es decir que en un semestre se estudie todo lo referente al tratamiento del agua residual y en otro al tratamiento de los lodos.

En cuanto al capítulo 1 y 2 se presentan bien planteados, pero el capítulo 3 a excepción del subtema "Tamaño y localización de la Planta", se me hace repetitivo, ya que más adelante se tratan esos mismos temas, está claro que sólo es una mención pero ese tiempo se podría aprovechar para otros temas más amplios como el capítulo 1. El subtema "Tamaño y Localización de la Planta" se podría incluir en el capítulo 2 y omitir el capítulo 3.

Respecto al capítulo 4 es muy específico e importante, ya que es el primer paso para darle tratamiento a las aguas residuales, y los subtemas tratados son los necesarios para cumplir con el objetivo, es bueno realizar el anteproyecto recomendado para la asignatura, pero no únicamente de las rejillas, desarenadores y cárcamos de bombeo, sino de todos los dispositivos mencionados en el capítulo.

El capítulo 6 está muy generalizado, me parece que se debería desglosar más, y ser más específico a los subtemas a tratar darle un mayor énfasis a subtemas como lodos activados que es uno de los procesos secundarios más importantes para el tratamiento del agua residual, y también lagunas de estabilización.

Es bien sabido que existe la libertad de cátedra, pero siempre y cuando se consiga cumplir con los objetivos.

Es importante recalcar que se necesita de un laboratorio para la realización de los anteproyectos, para la determinación de algunos parámetros que se requieren para poder desarrollar un proceso.

En cuanto al tema de desinfección siempre resulta importante y creo, que tiene los subtemas indicados para la comprensión del tema.

Del capítulo 8 puedo concluir que esta bien planteado, ya que el tema es una buena alternativa para el tratamiento del agua residual, sobre todo es importante que se entienda el tema ya que puede traer consecuencias que afectan al suelo, se debe hacer una buena aplicación de estos procesos para evitar perjuicios.

Para el capítulo 9 sería necesario que se pudiera impartir en otro semestre como ya se mencionó anteriormente, por que es un tema muy importante en cuanto al costo del tratamiento del aguas residual, y, en cuanto a los perjuicios que se pueden esperar, ya que se requiere de un buen manejo y tratamiento de los lodos.

Es importante que esta asignatura tome una mayor importancia por las razones ya mencionadas en la introducción, por ello el interés que imparta la materia en dos semestres y que además exista el laboratorio por que los temas así lo requieren.

En el capítulo 10, lo único que no encuentro congruente es que se trate el subtema "hidráulica y electricidad" que son temas que realmente merecen un estudio en especial, y que en un subtema no se puede abarcar todo el estudio que requieren esas asignaturas.

Para terminar, creo que el capítulo 11 es de los más indispensables, ya que es una necesidad imperante el conocer los procesos avanzados del tratamiento, para poder utilizar el aguas potable en servicios prioritarios, sustituyendo ésta por agua tratada para algunos servicios que no requieren de calidad potable.

Se estan haciendo cosas importantes con el agua tratada y se está teniendo un gran avance tecnológico, para la reducción en el consumo del agua potable, por que hoy en día el agua potable es cada vez más difícil de transportar para el abastecimiento de la ciudad de México.

La conclusión final sería, el dividir la metria en dos semestres, junto con un laboratorio para la determinación de parámetros, tener prácticas de campo, para conjuntar la teoría con la práctica para un mejor entendimiento. Por otro lado las técnicas de enseñanza marcadas para la asignatura son buenas pero se deben cumplir para darle un mayor interés a tan importante tema como lo es el Tratamiento de las Aguas Residuales.

Las técnicas de enseñansa son:

- Exposición oral
- Ejercicios dentro de clase
- Lecturas obligatorias
- Prácticas de taller o laboratorio
- Exposición audiovisual
- Ejercicios fuera de la aula
- Trabajos de investigación
- Prácticas de campo

GLOSARIO

GLOSARIO

Aereación: Poner íntimo contacto con el aire un líquido, por medio de uno de los métodos siguientes: Dispersando el líquido en el aire o agitándolo para promover la absorción superficial de aire.

Aerobio: Todo organismo que actúa sólo en presencia de oxígeno o aire.

Aire: Mezcla de elementos constantes (Nitrógeno, Oxígeno, y gases nobles), cuyas proporciones son prácticamente invariables; y elementos accidentales (Bióxido de Carbono, Bióxido de Azufre, Vapor de Agua, Ozono), cuya cantidad es variable según el lugar y el tiempo. Los componentes accidentales son los contaminantes.

Adsorción: La adherencia de los sólidos disueltos, coloidales o finamente divididos, a la superficie de cuerpos sólidos, con los cuales han sido puestos en contacto.

Afluente: Aguas negras u otro líquido parcialmente tratado, que sale de un depósito, estanque, o planta de tratamiento o de alguna parte de ella.

Agua: Mezcla de elementos, que son indispensables para la vida y que se puede presentar en forma líquida, sólida y gaseosa. Esta compuesta por dos moléculas de Hidrógeno y una molécula de Oxígeno (H_2O).

Agua potable: Agua libre de contaminantes, objetables, minerales e inocua, y que se considera satisfactoria para el consumo doméstico.

Agua negra (residual): Todas aquellas aguas que por el uso a que fueron sometidas han quedado degradadas en su composición original.

Alcantarilla: Tubería o conducto generalmente cubierta, y que normalmente no va llena, usada para conducir las aguas negras y otros desechos líquidos.

Algas: Vegetales rudimentarios, de una o varias células, usualmente acuáticos y capaces de elaborar sus propios alimentos por fotosíntesis.

Alumbre: Nombre vulgar del sulfato de aluminio.

Ambiente: El conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Arena: Materia mineral pesada que arrastra el agua a las aguas negras, por ejemplo, grava, cenizas, etc.

Autopurificación: Proceso natural de purificación de una masa de agua, en movimiento o en reposo, por el cual se disminuye el contenido de bacterias, se estabiliza la materia orgánica y el oxígeno disuelto regresa a su concentración normal.

Bomba: Dispositivo usado para aumentar la presión de un líquido.

Bordo Libre: Distancia vertical entre el máximo nivel de la superficie del líquido y los extremos de los bordos.

Cal: Material calcinado, constituido en su mayor parte por óxido de calcio, en asociación natural con una pequeña cantidad de óxido de magnesio; con agua es la cal apagada.

Capacidad de carga: La velocidad con que un material entra en un dispositivo de tratamiento, que depende de la longitud, la superficie, el volumen o cualquier otro factor de diseño.

Carga: Energía por unidad de peso de un líquido en un punto específico. Expresada en metros.

Coagulación: Aglomeración de materia suspendida, coloidal o finamente dividida, por la adición de un coagulante químico o apropiado, por un proceso biológico o por otros medios.

Coliformes fecales: SON microorganismos que generalmente se encuentran en el conducto intestinal de los seres humanos, los cuales sirven para indicar la contaminación fecal del agua y de la posible presencia de parásitos intestinales o patógenos.

Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Contaminante: Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Corrosión: El deterioro gradual o destrucción de una sustancia o de un material por acción química.

Criterios de calidad del agua: Los niveles o concentraciones que deben respetarse para poder darle al agua un uso determinado.

Criterios ecológicos: Los lineamientos destinados a preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno que requiere la materia orgánica para su descomposición, en un tiempo y a una temperatura determinada.

Desinfección: La destrucción de la mayor parte de los microorganismos dañinos o perjudiciales, que se encuentran en un medio, por la acción de productos químicos, calor, luz ultravioleta, etc.

Efluente: Aguas negras, aguas o cualquier otro líquido, parcial o totalmente tratado, o en su estado natural, como puede ser el caso de la corriente de salida de un depósito, estanque o planta de tratamiento o de alguna sección de ella.

Eficiencia: La relación entre la capacidad real de un aparato y su capacidad teórica de un aparato y su capacidad teórica total; usualmente se expresa en porcentajes.

Flóculo: Pequeña masa gelatinosa formada en un líquido por la adición de coagulantes o por medio de procesos bioquímicos o por aglomeración.

Flora y fauna acuáticas: Las especies biológicas y elementos biogénicos que tienen como medio de vida temporal, parcial o permanente las aguas.

Humus: Residuos carboníferos de color oscuro o negro que se encuentran en la tierra y que son el resultado de la descomposición de los tejidos vegetales de las plantas que originalmente crecieron en ella.

Influyente: Aguas negras, agua u otro líquido crudo o parcialmente tratado, que entra en un depósito, estanque, o planta de tratamiento o alguna parte de ella.

Laguna de lodos: Estanque o depresión natural, poco profunda, usado para el almacenamiento o digestión de lodos y algunas veces para su estadía final o desaguado.

Lixiviación: Eliminación de los constituyentes solubles de una roca, mineral o del suelo, por la acción de las aguas o líquidos que se filtran.

Lodo: Sólidos depositados por las aguas negras, o desechos industriales, crudos o tratados, acumulados por sedimentación en tanques o estanques y que contienen más o menos agua para formar una masa semilíquida.

Materia inorgánica: Sustancia química de origen mineral. Por lo general, no se volatilizan al ser calcinadas.

Materia orgánica: Sustancias químicas de origen animal, vegetal e industrial. Incluye a la mayor parte de los compuestos de carbono, y son combustibles y volátiles por el calor.

Microorganismos: Diminutos organismos, vegetales o animales invisibles o apenas visibles a simple vista.

Normas Técnicas Ecológicas: El conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establezcan los

requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente, y, además de uniformes principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.

Nitrificación: Oxidación del oxígeno amoniacal, a nitritos por medios químicos.

Oxidación: La adición de oxígeno, la pérdida de hidrógeno o el aumento en la valencia de un elemento.

Partes por millón (ppm) : La determinación de un determinado componente disuelto en las aguas negras, espesada en miligramos por litro.

Pendiente: La inclinación o declive del cauce de una corriente, de una tubería o de la superficie natural del terreno, usualmente expresada por la relación o porcentaje del número de unidades de elevación o caída vertical, por unidad de distancia horizontal.

Preaeración: Tratamiento preliminar de las aguas negras, que incluyen aereación para la remoción de gases, administración de oxígeno o favorecer la flotación de grasas y ayuda a la coagulación.

Putrefacción: Descomposición biológica de la materia orgánica, con producción de malos olores que van asociados a las condiciones anaerobias.

Recurso natural: El elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuos peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Sedimentación: Proceso de asentar y depositar la materia suspendida que arrastra el agua, las aguas negras u otros líquidos, por gravedad.

Soluto: Sustancia que está disuelta en un disolvente.

Tratamiento: Cualquier proceso definido para modificar las condiciones de la materia.

Vertedor: Represa con una arista o escotadura, que a veces se instala para medir el gasto de los líquidos.

ANEXO 1

ANEXO 1

COSTO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los costos varían ampliamente dependiendo de la naturaleza de los residuos, el proceso, el clima, los criterios de diseño, las condiciones del sitio y los costos locales de mano de obra, materiales, terreno y energía.

Los costos de las plantas se establecen como costos de capital y costos anuales con los componentes que se indican abajo:

- 1.- Costos de capital
 - a) Costos de construcción, incluyendo suministro y montaje de equipos
 - b) Compra del terreno, derechos de vía, etc.
 - c) Honorarios de ingeniería de proyecto y supervisión
 - d) Intereses del préstamo durante el período de construcción

- 2.- Costos anuales

Después del arranque de la planta, deben considerarse los siguientes costos anuales

 - a) Intereses sobre el préstamo
 - b) Amortización del préstamo
 - c) Depreciación de la planta
 - d) Seguros
 - e) Operación y mantenimiento incluyendo reemplazos menores

COSTOS DE CONSTRUCCION

$$C = a(X)^b$$

Donde:

C = Costo por persona o por unidad de gasto

X = Población de diseño o gasto

a y b = constantes

a, es el costo cuando X es igual a la "unidad" de población. por ejemplo 1000 hab. o una "unidad" de gasto, mgd o 1000 m³/día

b, refleja la economía de escala variando de 0.3 a 0.6

0.3 para plantas de filtros rociadores y lodos activados y 0.5 a 0.6 para lagunas de estabilización.

Las gráficas anexas pueden ser útiles para presentar presupuestos preliminares de plantas de lodos activados, zanjas de oxidación y carousel, lagunas de estabilización y lagunas aeradas facultativas.

DETERMINACION DE COSTOS ANUALES

a) **Intereses**

Las tasas de interes pueden variar substancialmente dependiendo dependiendo de la agencia que concede el prestamo.

b) **Amortización**

El monto anual puede calcularse por

$$A = \frac{Pi(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde:

A = Pago anual o anualidad

P = Valor presente del préstamo
 i = Tasa de interés anual
 n = Período de amortización

c) Depreciación

Vida estimada y depreciación anual

CONCEPTO	Vida estimada años	Depreciación anual como % de capital
1.- Planta de tratamiento promedio	20	5
2.- Estaciones de bombeo (maquinaria)	10	10
3.- Estructuras mayores	50	2
4.- Todo equipo y tuberías	10	10
Edificios	33	3
Edificios con estructura metálica	20 - 25	4 - 5

El monto anual de depreciación puede calcularse por:

$$A = \frac{Fi}{(1+i)^n - 1}$$

Donde:

A = Monto anual requerido para producir a "n" años y tasa de interés "i" un monto F.

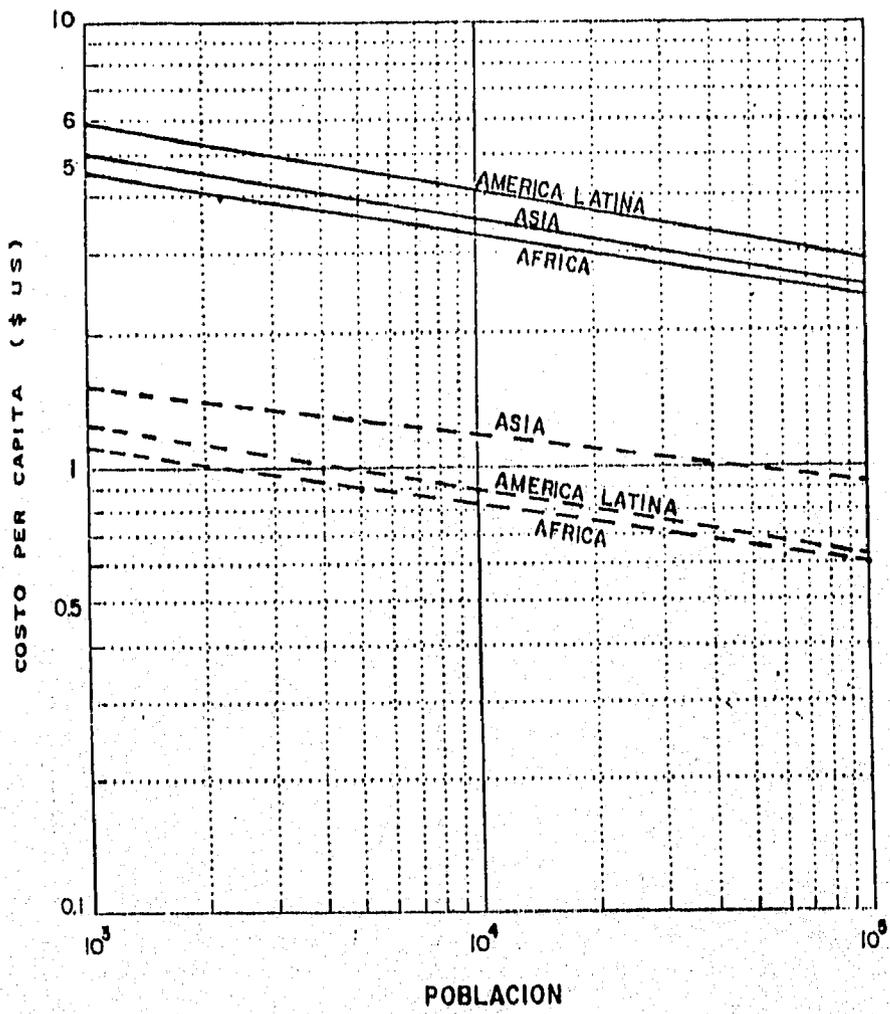
d) Costos OMR

Estos costos incluyen:

Personal
Productos químicos
Electricidad y combustibles
Transporte, renta y otros costos directos
Mantenimiento y reparaciones
Reemplazos menores

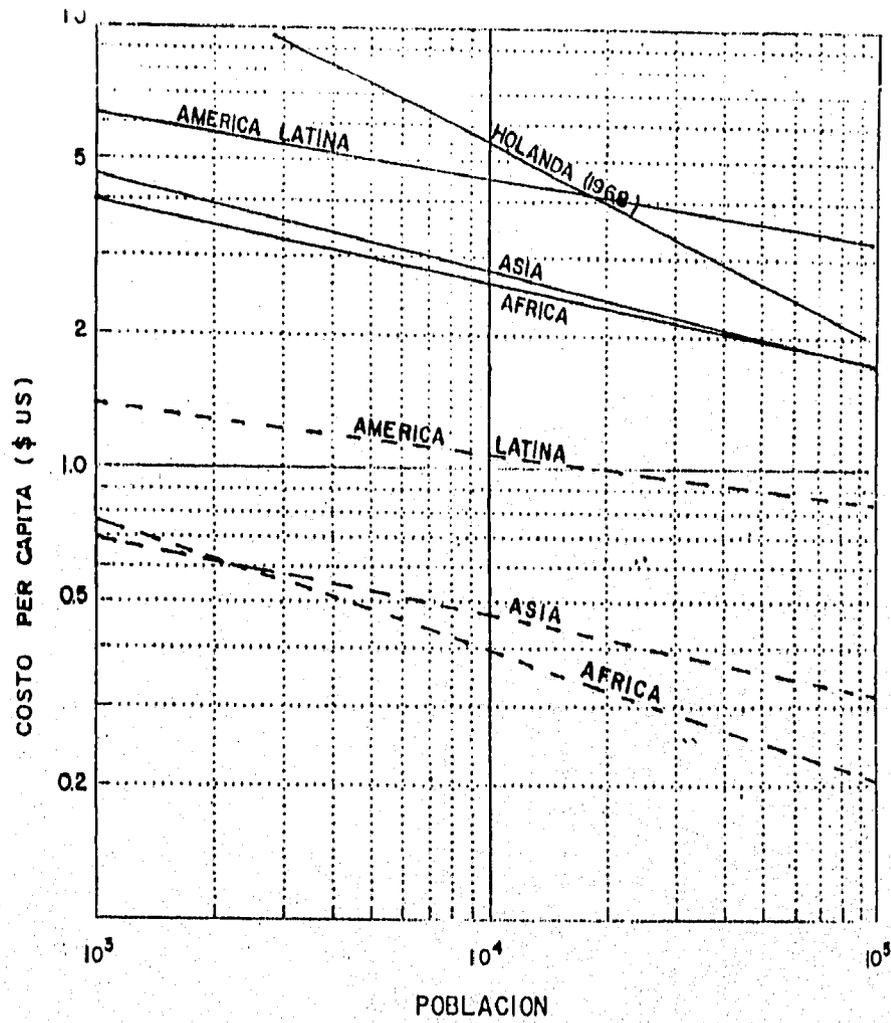
Estimación de costos para Mantenimiento y reparaciones

CONCEPTO	Pocentaje del costo de capital
Edificios	2 - 5
Equipamiento y maquinaria	2 - 10
Instrumentación	25



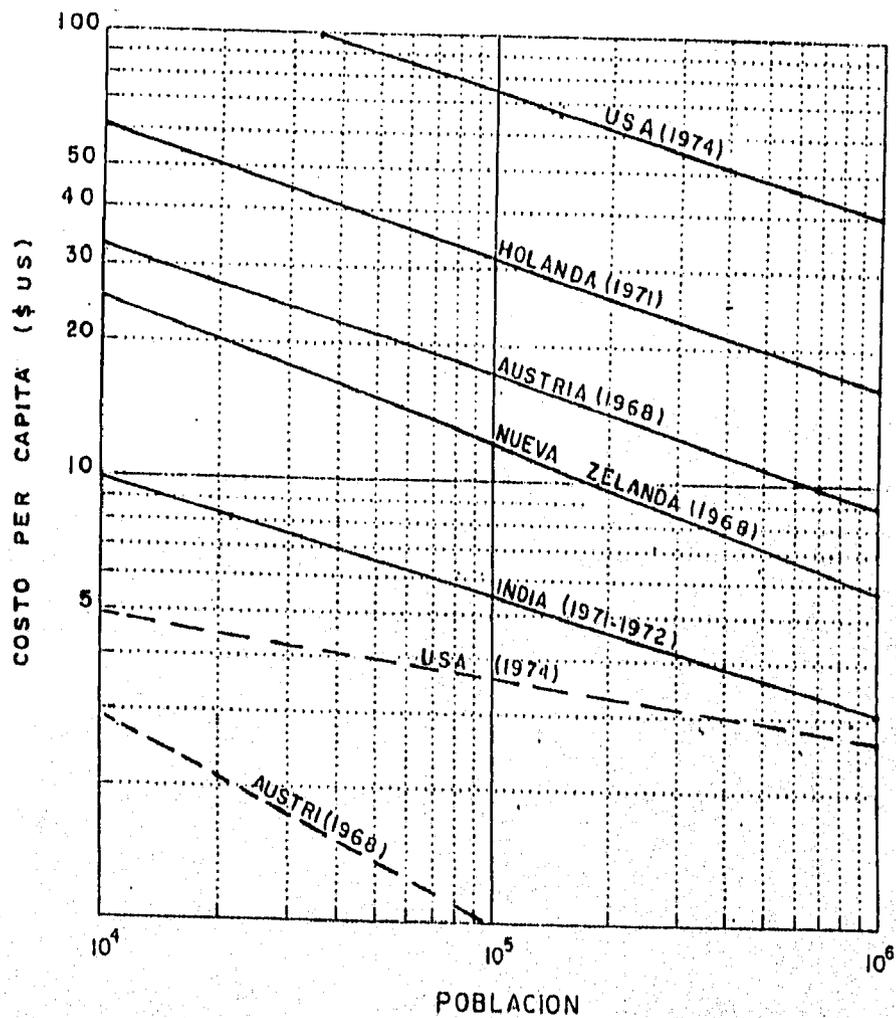
COSTOS DE CONSTRUCCION Y OM PARA LAGUNAS DE ESTABILIZACION

——— CONSTRUCCION
 - - - - - OPERACION Y MANTENIMIENTO



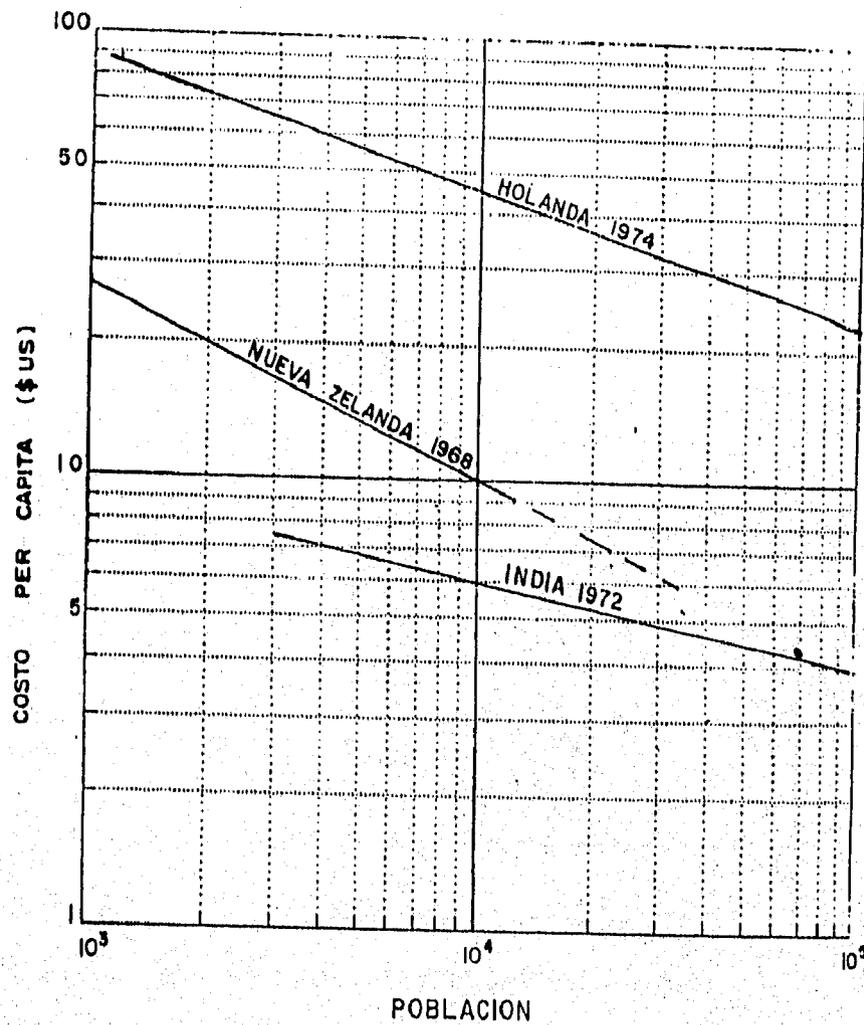
COSTOS DE CONSTRUCCION Y OM PARA LAGUNAS FACULTATIVAS AERADAS

———— CONSTRUCCION
 - - - - - O M



COSTOS DE CONSTRION Y OM PARA LODOS ACTIVADOS

— CONSTRUCCION
 - - - OPERACION Y MANTENIMIENTO



COSTOS DE CONSTRUCCION PARA ZANJAS DE OXIDACION Y CARROUSEL

ANEXO 2

ANEXO 2

INDICADORES BIOLÓGICOS

Los indicadores biológicos son sistemas para la caracterización biológica-ecológica de la calidad del agua.

Esos sistemas proveen de información que no puede ser obtenida por otros métodos, como el efecto de productos tóxicos en componentes biológicos y sobre la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua en estudio, entre otros.

Brindan una información sobre las condiciones de la calidad del agua, con requerimientos comparativos rápidos.

Los indicadores biológicos, son organismos que con su sola presencia, reflejan las características ambientales en que se encuentran.

El valor de los indicadores biológicos, en un problema de contaminación se presenta precisamente como una alteración biológica.

Los métodos biológicos muestran el grado de desbalance ecológico que ha sido causado, y los métodos químicos miden la concentración de contaminantes responsables de ello.

El análisis biológico para los diferentes índices de calidad del agua, incluye uno o más de los grupos de algas, invertebrados, peces y/o macrofitas.

Los organismos que mantienen fija su posición en un cuerpo de agua, habitando sobre o dentro de sustrato (bentos), o sobre los objetos fijos incluyendo plantas (perifiton), son los que mejor reflejan la calidad general del agua.

Factores tales como: velocidades de corriente, forma del cauce, naturaleza del sustrato o regulaciones de flujo hidráulico, inducen también cambios en los componentes bióticos del bentos.

Por otro lado se puede decir que las respuestas con valor de indicación en la estructura de las comunidades, indicadas por cambios ambientales son:

- Aparición o desaparición de especies en la comunidad, lo que ocasiona un cambio en la lista de especies.
- Un cambio en las poblaciones de las especies dentro de la comunidad.
- Un cambio en la composición proporcional de especies en la comunidad.

De estas respuestas, una o más pueden ser incluidas en los sistemas o índices de calidad del agua.

Entre los sistemas de indicadores biológicos más comúnmente utilizados a nivel internacional se encuentran:

- 1) Sistema de Patrick
- 2) Sistema Saprobico Europeo
- 3) Los indicadores bacteriológicos
- 4) Índice biótico de Trent
- 5) Índices de diversidad apoyados con determinaciones fisicoquímicas

Sistema de Patrick

Este sistema considera que en todo ecosistema acuático limpio existe un ciclo biodinámico, el cual resulta del balance entre plantas y animales vivos, es lógico que dicho ciclo se altere con la introducción en el ecosistema de descargas industriales y urbanas.

Este sistema establece el grado de contaminación a partir de un análisis de los grupos y numeros relativos de organismos presentes. Para ello se proponen siete grupos de organismos para utilizarlos como indicadores biológicos de las condiciones del río; estos son:

GRUPO	COMPONENTES
I	Algas azul-verdes, algas verdes (Stigeoclonium, Spirogyra y Triborena); rotíferos (Cephalomega locephala y proales de cipiens).
II	Oligoquetos, sanguijuelas y caracoles pulmonados
III	Protozoarios.
IV	Diatomeas, algas rojas y la mayoría de las algas verdes
V	Todos los rotíferos sin incluir los del grupo I, almejas, caracoles que respiran por agallas y gusanos.
VI	Todos los insectos y crustáceos.
VII	Todos los peces.

El sistema consiste en seleccionar varias estaciones libres de contaminación en un grupo de agua y graficar los siete grupos en siete columnas de igual altura; los datos obtenidos para el cuerpo de agua contaminado son también graficados en la misma escala; resultando que las estaciones que tienen una diferencia marcada con las del control mostrarán desequilibrios biológicos y por lo tanto las columnas mostraran variaciones.

Este sistema propone la siguiente clasificación para los ríos:

Río saludable: Presenta un desequilibrio entre los organismos; las algas presentes son principalmente diatomeas y verdes; los insectos y peces están representados por una gran variedad de especies. Los grupos

4, 6 y 7 deben estar por arriba del 50% con respecto a los niveles superiores encontrados en estaciones testigo.

Río semi-limpio: El equilibrio biológico se rompe. Como patrón se presenta la irregularidad; la diversidad de especies es menor, no así la abundancia.

Río contaminado: Aquí los datos se encuentran traslocados, con respecto a las demás unidades testigo. Sin embargo las condiciones son favorables para algunos grupos de organismos tales como los del grupo I y II.

Río muy contaminado: Aquí las condiciones son definitivamente tóxicas para la vida vegetal y animal.

La mayoría de los grupos no se presentan, particularmente los grupos VI y VII; el IV se puede presentar por debajo del 50%.

El grupo V es atípico y no permite comparaciones, ni puede ser usado, al igual que el III, específicamente en la definición de las condiciones prevalentes.

Sistema Saprobico Europeo

Este sistema considera que cuando un río recibe una carga elevada de materia orgánica, los procesos normales de autopurificación dan como resultado que se presenten diferentes zonas con severas condiciones de decremento de la calidad del agua, mostrando animales y vegetales característicos para cada una de las zonas.

Zona 1.- Polisapróbica: Es la zona más cercana a la descarga, por lo tanto altamente contaminada por materia orgánica, los valores de oxígeno disuelto son mínimos o no existen; hay formación de compuestos

de azufre, debido a que la materia orgánica aún no ha sido degradada se encuentran compuestos de elevado peso molecular. Abundan las bacterias.

Zona 2.- Mesosapróbica. ALFA: Area de descomposición activa, parcialmente aeróbica o anaeróbica, característica de ríos levemente contaminados con desechos orgánicos. Los procesos oxidativos empiezan a reemplazar a los compuestos sulfurados. BETA: Contaminación moderada, buena oxidación y mineralización de compuestos complejos.

En general esta zona contiene compuestos orgánicos más simples; la concentración de oxígeno disuelto empieza a aumentar. Las plantas enraizadas empiezan a aparecer.

Zona 3.- Oligosaprobia: Es la zona de recuperación cuando la mineralización es completa y el oxígeno disuelto se encuentra en condiciones normales, se caracteriza por una gran abundancia y diversidad de algas y por insectos y larvas.

Las desventajas de este sistema son:

- Muchos organismos se pueden encontrar con una amplia distribución, mientras que otros solo existen en zonas restringidas por razones diferentes a la calidad del agua.
- No considera la influencia de la corriente sobre la biota.
- No considera factores ambientales como la temperatura, y se ha demostrado que, en agua frías muy contaminadas, han aparecido organismos que según el sistema sapróbico no debería encontrarse.
- No se puede aplicar a contaminación de tipo diferente a la orgánica.

Para la interpretación de los resultados se presentan los siguientes métodos:

Método Knopp: Estudia la población animal y vegetal de la ribera y de la zona del fondo de un trecho de un río, y fabrica una "sección biológica longitudinal de calidad". En ello hay que tener en cuenta dos factores: la presencia de organismos indicadores y su abundancia de acuerdo a una escala de 7 grados:

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1 = Un solo hallazgo | 5 = Medio a alto |
| 2 = Poco | 6 = Alto |
| 3 = Poco a medio | 7 = Abundante |
| 4 = Medio | |

En cada sitio de investigación las especies encontradas se colocan en los 4 grados de saprobiedad, y se expresa su abundancia de los lugares estudiados con los valores de 1 - 7. Los valores de las frecuencias de las especies se suman para cada grado de saprobiedad y las frecuencias de las especies que permanezcan a dos grados adyacentes se dividen proporcionalmente (2:1 o de otra manera según la frecuencia).

Método de Pantle y Buck: Se calcula frecuencia (h) de cada especie encontrada según 3 grados de frecuencia:

- 1 = Casual
- 2 = Frecuentes
- 3 = Abundantes

Además se sitúa a cada especie en los sistemas de sapróbios (s), es decir, su lugar en el sistema, siendo para:

- | | |
|--|-------|
| Organismos indicadores Oligosapróbico | S = 1 |
| Organismos indicadores Beta-mesosapróbicos | S = 2 |
| Organismos indicadores Alfa-mesosapróbicos | S = 3 |
| Organismos indicadores Polisapróbicos | S = 4 |

Des estos datos se obtiene el índice de sprobiedad de cada lugar según la fórmula:

$$s = (S h) / h$$

A partir de ello, la calidad del agua se clasifica según la siguiente:

- s = 1.0 - 1.5 Contaminación muy débil
- 1.5 - 2.5 Contaminación moderada
- 2.5 - 3.5 Contaminación fuerte
- 3.5 - 4.0 Contaminación muy fuerte

Tanto el método de Knopp como el de Pantle y Buck han sido diseñados para determinar el grado de contaminación de aguas corrientes; proporcionan buenos recultados para embalses.

Indicadores Bacteriológicos

Los organismos utilizados como indicadores bacteriológicos de la calidad del agua indican con su sola presencia si existió contaminación, si fue reciente y aún hasta el tipo de organismo superior que la produjo; todo esto debido a la especificidad de estos grupos.

Generalmente, las heces fecales se animales de sangre caliente y del hombre incluyen una gran variedad de bacterias como las coliformes, los estreptococos fecales y clostridium encontrándose, gran cantidad de ellos en las aguas negras; la presencia o ausencia de éstas en un cuerpo receptor va a determinar la calidad bacteriológica del agua. Un aumento en el número de coliformes es indicador de deterioro de la calidad del agua, y de que existe un riesgo potencial para la salud del hombre al tratar en contacto con ella, directa o indirectamente.

El uso de estos grupos puede proporcionar pruebas sobre la calidad bacteriológica del agua, dependiendo de su uso. Por otro lado y con respecto a las plantas de tratamiento de aguas residuales, la determinación de estos grupos apoya los procesos de control de calidad.

Las pruebas para la determinación de bacterias son extremadamente sencibles. Las aguas residuales crudas contienen aproximadamente 10 *Escherichia coli*/100 ml. y es posible detectar hasta un organismo de *E. coli*/100 ml por lo que el agua residual puede diluirse más de un millón de veces y aún ser detectada microbiológicamente.

Entre los principales grupos bacterianos , determinados en pruebas de laboratorio para identificar la calidad microbiológica del agua, se encuentran:

Grupo coliforme: Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, de forma de bacilo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas a 48°C. Este grupo se subdivide en coliformes fecales (*Escherichia coli*) y coliformes totales (*Enterobacter aerogenes*).

Grupo de los estreptococos fecales: Los estreptococos son bacterias gram positivas que se desarrollan y reproducen a 45°C. Producen ácido cuando fermentan al manitol y la lactosa; microscópicamente se pueden observar en pares o cadenas cortas. Debido a que viven menos tiempo en el agua que los coliformes, y que no se reproducen tan frecuentemente como éstos pueden brindar resultados confiables.

Grupo Clostridium: Esta representado por dos especies: *C. perfringens* y *C. welchii*; son bacterias anaerobias esporuladas, gram positivas, presentes en el conducto intestinal de los animales de sangre caliente. Debido a que sus esporas sobreviven largo tiempo, su presencia independiente de otros grupos menos resistentes, indica que la

contaminación fecal existió hace largo tiempo; sin embargo, su presencia no es indicativa de insalubridad.

Índice Biótico de Trent

El valor de índice biótico se fundamenta en la tolerancia de algunos taxa indicadores de invertebrados de acuerdo al número de grupos presentes. Cada grupo comprende diferentes niveles taxonómicos, no particularmente nivel de especie, familia u orden para todos y cada uno de los componentes del grupo.

Teóricamente, se basa en los cambios en la lista de especies y en la reducción de la diversidad, si se considera que cambios en la calidad del agua pueden ocasionar cambios en la abundancia relativa de las especies de los invertebrados más que en un cambio de las especies presentes. El índice biótico está diseñado para contaminación orgánica, por tolerancia o intolerancia de los invertebrados a descargas de drenaje de tipo doméstico, sin embargo llegan a tenerse buenas interpretaciones para otras formas de contaminación, por ocasionar estas también una reducción en la diversidad.

Índice de diversidad

Este sistema expresa la riqueza de una comunidad relacionando el número de especies con el número total de individuos, en la ecuación:

$$I = (S - 1) / \log N$$

Donde:

S = número de especies

N = número de individuos

Esta fórmula no toma en cuenta el número de individuos por especie, que si incluye el índice de Shannon:

$$I = t_j = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right)$$

Donde:

t = número de grupos en la muestra

n = número de individuos en cada grupo

N = número total de individuos en la muestra

La aplicación de los índices de diversidad se basa en que las comunidades bajo perturbación ecológica mostrarán una reducción en la diversidad.

Los índices de diversidad son más sencibles que otros sistemas, pero demandan un mayor esfuerzo en su cálculo y en el conteo de especies y del mínimo de individuos por especies. Requieren también el apoyo de evaluaciones físico-químicas que permitan adecuar el índice a una óptima estrategia de supervisión biológica.

Los métodos físico químicos y los biológicos son esencialmente complementarios para la determinación de la calidad del agua.

Las ventajas de los métodos biológicos utilizando comunidades bentónicas, es que estas actúan como monitores continuos en las aguas con las que están en contacto, mientras que los análisis físicoquímicos solamente dan datos intermitentes.

Las comunidades bentónicas responden a un amplio intervalo de determinantes de la calidad del agua, incluyendo contaminantes, mientras que el monitoreo físicoquímico depende de conocer que tipo de

contaminantes pueda estar presente, lo cual se hace cada vez más difícil por la creciente complejidad en la composición de los efluentes industriales.

La supervisión biológica, además de ser útil en la identificación de la calidad del agua, provee también de información sobre cambios en las poblaciones y en la distribución de los organismos, información altamente significativa en el manejo de cuerpos de agua y pesquerías.

Aunque los análisis biológicos pueden indicar agua de baja calidad para la mayoría de los usos el hecho de que muestren una calidad aceptable, no indica que esa agua está libre de patógenos o elementos traza dañinos, los cuales habrán de ser determinados por métodos microbiológicos o químicos.

Es indudable que el manejo adecuado del ambiente debe hacerse interdisciplinariamente, tendiendo hacia posibilidades reales de predicción y de optimización de costos y beneficios.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Ernest W. Steel - Terence D. McGhee.

Abastecimiento de agua y alcantarillado.

5a. Edición, Ed. Gustavo Gili, Barcelona 1981, 636 pp.

Metcalf - eddy

Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales.

1a. Edición, Ed. Labor, Barcelona 1985, 936 pp.

W.A. Hardenbergh - Edward. B. Rodie.

Ingeniería sanitaria.

1a. Edición, Ed. CECOSA, México 1987, 584 pp.

Michael A. Wnkler

Tratamiento biológico de las aguas de desecho.

1a. Edición, Ed. LIMUSA, México 1993, 338 pp.

Fair M.G. - Geyer Ch - Okun A.D.

Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales

Vol. II. Ed. LIMUSA, México 1984, 764 pp.

Harold E. Babbitt - E.R. Baumann

Alcantarillado y tratamiento de aguas negras

1a. Edición, Ed. CECOSA, México 1965, 881 pp.

Gilberto Sotelo Avila

Hidráulica General

Vol. I. 1a. Edición, Ed. LIMUSA, México 1974, pág. 249-251

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Manual de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

México 1984, 270 pp.

Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos.
Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
Diario Oficial, Miércoles 12 de enero de 1994, Segunda sección, 32 pp.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Instituto Nacional de Ecología, México 1992, 342 pp.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
Informe de la Situación General en Materia de equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Instituto Nacional de Ecología, México 1994, 358 pp.

Secretaría de Desarrollo Social.
Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental.
Instituto Nacional de Ecología, México Junio de 1993, 11 - 90 pp.

Secretaría de agricultura y Recursos Hidráulicos
Ley de Aguas Nacionales.
Comisión Nacional del Agua, México Diciembre de 1992, 77 pp.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
Control de la Contaminación del Agua.
México 1991, 397 pp.

Departamento de Sanidad del Estado de New York
Manual de Tratamiento de Aguas Negras.
Ed. LIMUSA, Wiley 1964 304 pp.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Diario Oficial, México Enero 28 de 1988, 138 pp.

The American Water Works Association, Inc.
Control de Calidad y Tratamiento de Aguas.
Instituto de Estudios de Administración Local
1a. Edición, Madrid 1975, 734 pp.

R. S. Ramalho
Tratamiento de Aguas Residuales
1a. Edición, Ed. Reveré S.A., Barcelona 1991, 705 pp.

M. en I. Arnulfo Paz Sánchez
Tratamiento de aguas residuales, municipales, industriales y de reusos. (Costo de tratamiento de aguas residuales).
Facultad de Ingeniería, División de Educación Continua, abril 1995, 1 - 8 pág

Secretaría General de Obras
Plantas de tratamiento de aguas residuales San Luis Tlaxiátemalco
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH).
Folleto 1990.

Secretaría General de Obras
Unidad experimental de Tratamiento Avanzado de Agua Residual "Cerro de la Estrella".
Dirección Genral de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH).
Folleto 1985.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C.
Calidad Ambiental para el Desarrollo Sustentable
Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C., México D.F. ; Octubre de 1993
MEMORIA 1993.