
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

**INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA DEL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

AMALIA GIL JUÁREZ

ASESOR: ING. J. MARIANO RAMOS OLMOS

MÉXICO, D.F.

ENERO 2005

m345405



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/003/05

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: GIL JUÁREZ AMALIA

P r e s e n t e.

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

PRESIDENTE	I.Q. Rafael Coello García
VOCAL	I.Q. Mariano Ramos Olmos
SECRETARIO	M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda
SUPLENTE	I.Q. Luz Elena Flores Bustamante
SUPLENTE	Biol. Ma. Eugenia Ibarra Hernández

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D.F., 25 de Enero del 2005.

EL JEFE DE LA CARRERA

M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Mariano Ramos. Por su dirección y valioso apoyo.

Al Ing. Hector Navarro. Por sus atinados comentarios y correcciones.

Al Ing. Marco Antonio Romero. Por haber despertado mi interés en el tema y por su aportación de información valiosa.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM, maestros y compañeros por la formación recibida.

A LA MEMORIA DE MI HERMANO

Miguel Angel Gil Juárez. En donde quiera que estés, se que te hará feliz ver los frutos de tu impulso, . . . , de tu obra.

A MI ESOSO

Emilio Plascencia M. Por tu amor, respeto, apoyo y compañía que me ayudaron a concluir esta etapa de mi vida.

A MIS HIJOS

Francisco Miguel y Berenice. Por que han sido la inspiración y el impulso que todos tenemos por dejar un mundo mejor a nuestros hijos.

AL MUNDO

Por los daños infringidos, por las promesas no cumplidas, por que ante una contaminación sin fronteras debemos buscar las alianzas globales.

Extracto de la Declaración de Kyoto durante el tercer Foro Mundial del Agua marzo 2003:

“Los problemas mundiales relacionados con el agua abarcan contaminación, destrucción de ecosistemas, inundaciones, sequías y carencia de agua potable y saneamiento, por lo que nos comprometemos a un enfoque bimodal, la cooperación internacional que conjunta la sabiduría del mundo y las acciones locales emprendidas por comunidades que comparten una historia y cultura del agua común.”

El futuro es nuestro, el próximo foro mundial del agua se llevará a cabo en la Ciudad de México del 16 al 22 de marzo del 2006 y su reto se expresa en el lema:

“Acciones locales para un desafío global”

ÍNDICE

1. GENERALIDADES.....	1
1.1. DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	2
1.2. CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	3
1.3. PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	4
1.4. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA HACIA EL HOMBRE Y SU MEDIO.....	9
1.5. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS CONTAMINANTES.....	9
1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL AGUA.....	11
2. MARCO DE REFERENCIA.....	12
2.1. EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2001-2006.....	12
2.2. LEYES Y NORMAS APLICABLES.....	14
3. CARACTERÍSTICAS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
3.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	31
4. TIPOS DE TRATAMIENTO.....	37
4.1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	40
4.2. LAGUNAS ANAERÓBICAS.....	43
4.3. LAGUNAS FACULTATIVAS.....	46
4.4. LAGUNAS DE MADURACIÓN.....	48
4.5. BIODISCOS (ROTATING BIOLOGICAL CONTACTORS, RBC).....	49
4.6. LODOS ACTIVADOS.....	59
4.6.1. <i>Principios de oxidación biológica</i>	59
4.6.2. <i>Definición de variables</i>	60
4.6.3. <i>Definición de variables con respecto a la figura 4-9</i>	65
4.6.4. <i>Relaciones cinéticas</i>	67
5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS.....	88
5.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LAS PLANTAS DE LODOS ACTIVADOS.....	88
5.1.1. <i>Caracterización del agua residual</i>	89
5.1.2. <i>Definición del flujo a tratar</i>	89

5.2.	DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE REACTOR BIOLÓGICO.....	96
5.3.	PREDIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO Y ACCESORIOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	119
5.3.1.	<i>Unidad de cribado</i>	119
5.3.2.	<i>Unidad desarenadora</i>	124
5.3.3.	<i>Unidad sedimentación primaria</i>	130
5.3.4.	<i>Dimensionamiento de unidades</i>	134
6.	EVALUACIÓN TÉCNICA Y CONCLUSIONES.....	138
6.1.	EVALUACIÓN TÉCNICA PARA UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.....	138
6.2.	EVALUACIÓN TÉCNICA PARA UN SISTEMA DE BIODISCOS (RBC).....	139
6.3.	EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LAGUNAS.....	140
6.4.	CONCLUSIONES.....	140
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	141

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 4-1. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES.	38
FIGURA 4-2. CLASIFICACIÓN DE ALGUNAS LAGUNAS TIPO Y EN BASE AL INFLUENTE RECIBIDO.	41
FIGURA 4-3. ESQUEMAS DE DIFERENTES EJEMPLOS DE ARREGLOS DE LAGUNAS EN SERIE.	42
FIGURA 4-4. RUTAS DE FERMENTACIÓN PARA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A METANO EN UNA LAGUNA ANAEROBIA.	44
FIGURA 4-5. ESQUEMA TÍPICO DE UNA PLANTA DE BIODISCOS (RBC) EN APLICACIONES PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO.	51
FIGURA 4-6. RELACIÓN DE DBO REMOVIDO.	56
FIGURA 4-7. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS.	57
FIGURA 4-8. PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVOS ⁴	61
FIGURA 4-9. REACTOR TIPO DISCONTINUO.	67
FIGURA 4-10. CURVAS TÍPICAS DE LA CONCENTRACIÓN DE SUSTRATO SOLUBLE Y DE LOS MLVSS EN UN REACTOR DISCONTINUO ⁴	69
FIGURA 4-11. MECANISMO DE LA DEGRADACIÓN BIOLÓGICA AEROBIA.	75
FIGURA 5-1. REPRESENTACIÓN DE IVL EN FUNCIÓN DE F/M.	98
FIGURA 5-2. CARACTERÍSTICAS DE AERADORES DE SUPERFICIE.	99
FIGURA 5-3. CORRELACIÓN DE α EN FUNCIÓN DE F/M.	118
FIGURA 5-4. ESQUEMA DE UNA TOLVA DE RECOLECCIÓN DE ARENA.	129
FIGURA 5-5. ESQUEMA FUNCIONAL Y DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR.	134

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1.	CUENCAS Y SUBCUENCAS DIVIDIDAS POR REGIONES ADMINISTRATIVAS.	6
TABLA 1-2.	VOLUMEN DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, 2002.	10
TABLA 2-1.	ESTRUCTURA FINANCIERA DEL PAPAS.	20
TABLA 3-1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL.	23
TABLA 3-2.	COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	24
TABLA 4-1.	FUNCIONES PRINCIPALES DE LAGUNAS TÍPICAS FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.	42
TABLA 4-2.	ÁREAS OCUPADAS POR BIODISCO EN CADA ETAPA.	58
TABLA 4-3.	COMPARACIÓN DE MECANISMOS DE REMOCIÓN PARA CONTAMINANTES PRIORITARIOS EN LODOS ACTIVADOS.	59
TABLA 4-4.	DEFINICIÓN DE VARIABLES ⁴ .	63
TABLA 5-1.	CONSUMOS POR REGIÓN.	90
TABLA 5-2.	DATOS DE POBLACIÓN DE LOS ÚLTIMOS CUATRO CENSOS.	93
TABLA 5-3.	TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN NACIONAL.	93
TABLA 5-4.	PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DESDE 2004 AL AÑO 2018.	94
TABLA 5-5.	APORTACIÓN DE AGUA RESIDUAL A LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	95
TABLA 5-6.	VALORES DE SATURACIÓN DE OXIGENO PARA AGUA DESTILADA EN CONDICIONES NORMALES (1 ATM).	101
TABLA 5-7.	PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA.	101
TABLA 5-8.	SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LA UNIDAD CRIBADO.	120
TABLA 5-9.	RESUMEN DE RESULTADOS PARA EL SISTEMA DE CRIBADO.	123
TABLA 5-10.	TAMAÑO DE ABERTURAS DE CRIBA DE GRUESOS Y FINOS.	123
TABLA 5-11.	SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LA UNIDAD DESARENADORA.	126
TABLA 5-12.	RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIDAD DESARENADORA.	130
TABLA 5-13.	SIMBOLOGÍA EMPLEADA EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO.	131
TABLA 5-14.	DISTRIBUCIÓN DE SÓLIDOS EN EL INFLUENTE*.	133
TABLA 5-15.	RESUMEN DE RESULTADOS DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO, UTILIZANDO LAS ECUACIONES 15 A 22.	136
TABLA 5-16.	DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES.	137

ABREVIATURAS

CNA	Comisión Nacional del Agua
COT	Carbono Orgánico Total
CPD	Condiciones Particulares de Descarga
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DTeO	Demanda Teórica de Oxígeno
GAC	Carbón Granular Activado
GWP	Asociación Mundial del Agua
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LFD	Ley Federal de Derechos
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
MLNVSS	Sólidos en Suspensión no Volátiles del Licor Mezclado
MLSS	Sólidos en Suspensión del Licor Mezclado
MLVSS	Sólidos en Suspensión Volátiles del Licor Mezclado
NMP	Número Más Probable
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
NVSS	Sólidos No Volátiles en Suspensión
OD	Oxígeno Disuelto
PAPAS	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
PROMMA	Programa de Modernización del Manejo del Agua
RBC	Rotating Biological Contactors (Biodiscos)
RLAN	Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos en Suspensión Totales
VSS	Sólidos Volátiles en Suspensión
VSZ	Velocidad de Sedimentación por Zonas

R E S U M E N

Los objetivos que persigue este trabajo son los siguientes:

- ▶ Definir la problemática de la contaminación del agua por uso doméstico.
- ▶ Investigar y dar a conocer los diversos métodos de tratamiento de aguas domésticas, sus mecanismos de acción.
- ▶ Metodología del predimensionamiento del sistema de tratamiento, las características fisicoquímicas y biológicas del agua a tratar, considerando el marco legal en México.

En el presente trabajo se incluyen aspectos de contaminación del agua, marco legal y tratatamientos básicos de aguas residuales, así como la metodología para el predimensionamiento de un sistema de tratamiento seleccionado de los tres tipos expuestos.

Inicialmente se tratan aspectos sobre contaminación del agua, causas que la generan, la problemática, efectos de la contaminación hacia el hombre y el medio.

A continuación se visualiza la legislación ambiental, la aplicación y características principales en el marco normativo mexicano, así como lo indicado en el Plan Nacional de Desarrollo vigente en lo referente a contaminación del agua.

Una vez establecido lo anterior se señala las principales características de las aguas residuales, como es clasificación de los parámetros, composición típica del agua residual doméstica y las principales etapas de caracterización de las aguas residuales.

En el siguiente capítulo se exponen las ventajas y desventajas, así como características de los tratamientos de aguas residuales en base a los contaminantes a remover, calidad requerida y costo y disponibilidad de superficie para cualquier tipo de tratamiento seleccionado.

Expuestos los tres tipos de tratamiento de Lagunas, biodiscos y lodos activados se desglosa la metodología para el diseño de plantas de lodos activados, desde los datos básicos para diseñar el reactor hasta el predimensionamiento de los equipos y accesorios para la planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados.

Finalmente, se realiza una evaluación técnica del tratamiento de las aguas residuales por lagunas, biodiscos y lodos activados, indicando por que se seleccionó el último antes mencionado.

1. GENERALIDADES.

No es difícil entender la razón por la que las grandes civilizaciones en todo el mundo se han asentado en las riveras de ríos, lagos y lagunas, una pequeña parte de esa agua es utilizada para calmar la sed, pero la mayor atracción de una cuenca lacustre lo constituía la vida salvaje, los tules, algas, peces, y ajolotes, por otra parte la gran vegetación que al bordear al agua y los insectos que en ella se desarrollan, atraen a las aves, y estas a sus depredadores. Es un hecho que hemos acabado con todo esto al drenar los lagos y utilizar el agua hasta agotarla, ahora sobre explotamos el agua subterránea y transportamos agua desde distancias y alturas cada vez más difíciles.

Para atender los problemas de uso y distribución del agua y los conflictos que surgen entre distintos usuarios, un importante número de naciones han decidido reconocer a las cuencas hidrológicas como los territorios más apropiados para medir, administrar, planificar y organizar la gestión eficaz del agua. Además, a estos territorios se les reconoce como los espacios físicos que naturalmente facilitan los acuerdos y consensos entre sus habitantes y los gobiernos, en la búsqueda de mejores métodos para manejar el recurso. México en 1993, la Comisión Nacional del Agua CNA, creó los Consejos de Cuenca, cuya misión es mejorar la administración, desarrollar la infraestructura hídrica y preservar las cuencas, con participación de la sociedad. La cuenca es el área por donde el agua de lluvia o de deshielos transita o drena, pasando por redes de corrientes hacia un curso o río principal y desde ahí a una desembocadura común, que puede ser un depósito interior, como lagos, lagunas o embalses. En los 25 consejos mexicanos participan delegados gubernamentales y de diversos usuarios—agricultores, industrias, prestadores de servicios y consumidores urbanos de agua—con voz y voto, y universidades y organizaciones no gubernamentales, sólo con voz. Sobre la forma en la que el agua se toma del ambiente se han hecho grandes esfuerzos para llevarla hasta los centros de consumo, sin embargo en cuanto a las condiciones en las que se descarga la situación no es la misma.

Un hecho es que la calidad del agua existente se ve cada vez más deteriorada; provocando que los ecosistemas acuáticos sean afectados en sus valores de diversidad y abundancia, reduciéndose por tanto su capacidad de producción.

Una de las causas del agotamiento de este recurso, es debido a su contaminación, pudiendo ser natural o inducida (antropogénica). La contaminación natural, se produce por: el aporte de

materia inorgánica en forma de ceniza y azufre producto de fenómenos volcánicos y de erosión, los fenómenos naturales derivados de la defoliación etc., más, la naturaleza llega a un equilibrio siempre benéfico para todos. La contaminación que rompe ese equilibrio es la contaminación inducida y que proviene del uso del agua en las grandes ciudades y en la industria en general.

1.1. DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Dadas las perspectivas con las que se pueda mirar la contaminación, se propone la siguiente definición: *"Es la alteración de las condiciones físicas y/o químicas que la vuelven inadecuada para el fin que se le ha destinado o para el cuerpo receptor donde se descarga"*.

Esto tiene diversas implicaciones:

- 1.- La contaminación no es una condición absoluta sino que depende del medio y del fin propuesto, por ejemplo el agua de un río u otro cuerpo de agua, se puede considerar suficientemente limpia para fines recreativos pero no apropiada para beber.
- 2.- El tipo de contaminación depende de la dificultad para eliminar el contaminante, el volver al agua inadecuada implica la pregunta ¿es reversible el proceso?
- 3.- Si el agua es inadecuada para un fin ¿puedo usarla para otro?
- 4.- Resulta un desperdicio de recursos purificar el agua más allá del nivel necesario para el fin destinado.
- 5.- ¿Cuáles son los niveles de contaminación que soportan los cuerpos receptores?
- 6.- Debemos tratar de evitar la contaminación del agua y en caso de contaminarla debemos proporcionarle un tratamiento para disminuir los contaminantes diseñando el tratamiento de forma tal que dicho tratamiento se adapte a las condiciones del agua, de sus contaminantes y del cuerpo receptor o de los usos subsiguientes.

De esta necesidad surge el establecer una legislación de acuerdo a los usos a que se destinaran los cuerpos receptores, misma que se expondrá posteriormente.

1.2. CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Una corriente natural sana, como un lago o un río posee una capacidad limitada de auto purificación. Cuando esta capacidad se rebasa, destruye o agota, la corriente se contamina. Por lo general, la capacidad de auto purificación se debe a cantidades relativamente pequeñas de microorganismos presentes en el agua.

Dichos microorganismos utilizan como alimento gran parte de la materia orgánica contaminante que llega de algún modo al agua. Los microorganismos forman un microsistema ecológico de bacterias, hongos y algas que a su vez forman parte de una cadena alimentaria para otros organismos como protozoarios, insectos, gusanos y peces. La presencia de dicha fauna acuática en un río es un indicador de su salud.

En el proceso de purificación, las materias orgánicas se descomponen finalmente en compuestos simples como anhídrido carbónico o metano y los microorganismos aumentan en número. De este modo, los contaminantes orgánicos se eliminan de la corriente de agua, en parte por descomposición bioquímica y en parte por conversión celular microbiana. Si se destruye la población microbiana, los solutos contaminantes que entran en el agua no se descompondrán y se acumularán en el agua.

Según se incrementen los contaminantes, su concentración en el agua puede hacerse tan alta que no se podrá restablecer una población microbiana y entonces el agua queda permanentemente contaminada, hasta que se trate eficientemente.

Ahora bien el exceso de solutos en el agua proviene principalmente de la actividad humana que se conglomeran en grupos que efectúan actividades, donde se utiliza el vital líquido.

1.3. PROBLEMÁTICA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua para la industria en México son los ríos, manantiales y el subsuelo, la disponibilidad de estos recursos es muy variable en todo el territorio nacional, una estimación de la capacidad anual de estas fuentes reporta las siguientes cifras:

- √ De los 772 mm de lluvia que en promedio ocurren anualmente en el territorio, el 67% acontece de junio a septiembre, lo que dificulta su aprovechamiento, dado su carácter torrencial en la generalidad de los casos.
- √ En las presas, se dispone de un almacenamiento de 150 km³, significando todo ello aproximadamente un 37.78% del escurrimiento anual.

Para dar seguimiento a la evolución de los niveles y la calidad del agua subterránea, la CNA lleva a cabo el monitoreo a una muestra de pozos seleccionados. Mediante el Programa de Modernización del Manejo del Agua (PROMMA), se han reactivado las redes de monitoreo de 240 acuíferos distribuidos en todo el país, y se presta especial atención a los de mayor importancia. Estadísticas actuales indican que aproximadamente el 62.22% del agua que llueve en el país se evapora y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos.

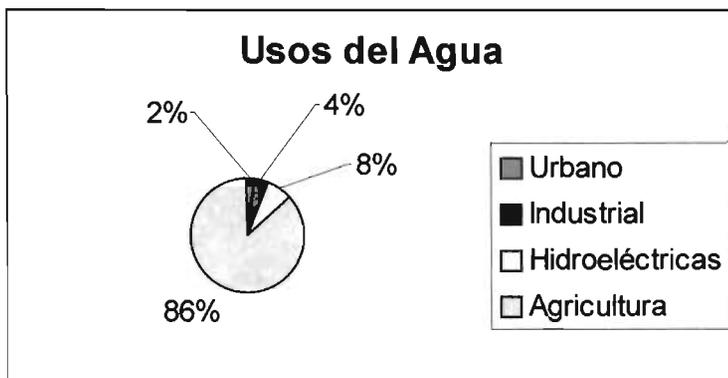
VALORES ANUALES

Precipitación media histórica 1941-2002 (771 mm)	1 511 km ³
Evaporación-transpiración media	1 084 km ³
Escorrentamiento natural medio superficial total	399 km ³
Recarga media total de acuíferos	77 km ³
Disponibilidad natural media total	476 km ³
Disponibilidad natural media por habitante	4 547 m ³

Fuente: Subdirección General Técnica. CNA.

La sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando, principalmente en las zonas áridas y semiáridas, lo que ha ocasionado deterioros prácticamente irreversibles como intrusión salina, el hundimiento del terreno y necesidad de bombeo a profundidades incosteables o incluso la desalinización del agua de mar.

Una vez utilizada el agua se descarga con los contaminantes sin utilizarla en otros fines. Por lo que es imperativo que se dé tratamiento a las aguas residuales en forma generalizada. Es importante mencionar que actualmente se están llevando a cabo diversos mega proyectos para el tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Instituto de Ecología de la UNAM

La mayor parte del agua se utiliza en la agricultura y no requiere de tratamiento, solo el 6 % que corresponde al agua para uso urbano e industrial requiere ser tratada, se hacen esfuerzos continuos, sin embargo aún falta mucho por hacer.

Para garantizar la congruencia en las estrategias nacionales que se persiguen en las cinco mesorregiones definidas por la Oficina de la Presidencia, se agrupan las regiones hidrológicas conforme a esa regionalización, en la siguiente tabla se observan las regiones administrativas, cuencas y cuerpos de agua monitoreados.

TABLA 1-1. CUENCAS Y SUBCUENCAS DIVIDIDAS POR REGIONES ADMINISTRATIVAS.

Región Administrativa	Cuenca o subcuenca	Cuerpos de agua con estaciones de monitoreo
I Península de Baja California	Río Colorado	Río Colorado
II Noroeste	Río Yaqui	Río Yaqui
III Pacífico Norte	Río Acaponeta	Río Acaponeta
	Río Baluarte	Río Baluarte
	Río Piaxtla-Río Elota-Río Quelite	Río Piaxtla
	Río San Pedro	Río Mezquital
	Río San Pedro	Río San Pedro
IV Balsas	Río Balsas-Infiernillo	Río Balsas
	Río Balsas-Mezcala	Río Balsas
	Río Balsas-Zirándaro	Río Balsas
	Río Cutzamala	Río Cutzamala
	Río Grande de Amacuzac	Río Amacuzac
	Río Tepalcatepec-Infiernillo	Río Cupatitzio
VI Río Bravo	Río Bravo-Cd. Juárez	Río Bravo
	Río Bravo-Matamoros Reynosa	Río Bravo
	Río Bravo-Nuevo Laredo	Río Bravo
	Río Bravo-Piedras Negras	Río Bravo
	Río Bravo-San Juana	Río San Juan
	Río Conchos-P. El Granero	Río Conchos
	Río Florido	Río Florido
VII Cuencas Centrales del Norte	Río Aguanaval	Río Aguanaval
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Río Ameca-Ixtapa	Río Ameca
	Río Armería	Río Armería
	Río Armería	Río Ayuquila
	Río Bolaños	Río Tlaltenango
	Río Lerma-Salamanca	Río Lerma
	Río Santiago-Aguamilpa	Río Santiago
	Río Verde-Grande	Río Juchipila
	Río Verde-Grande	Río Lagos

TABLA 1-1. CUENCAS Y SUBCUENCAS DIVIDIDAS POR REGIONES ADMINISTRATIVAS. (CONTINUA)

Región Administrativa	Cuenca o subcuenca	Cuerpos de agua con estaciones de monitoreo
IX Golfo Norte	L. de San Andrés-L.Morales	Río Tigre
	Río Moctezuma	Río Amajac
	Río Moctezuma	Río Moctezuma
	Río Moctezuma	Presa Zimapán
	Río Soto La Marina	Río Soto La Marina
	Río Tamesí	Laguna de Champayán
	Río Tamesí	Río Guayalejo
	Río Tamuín	Río Santa María
	Río Tamuín	Río Valles

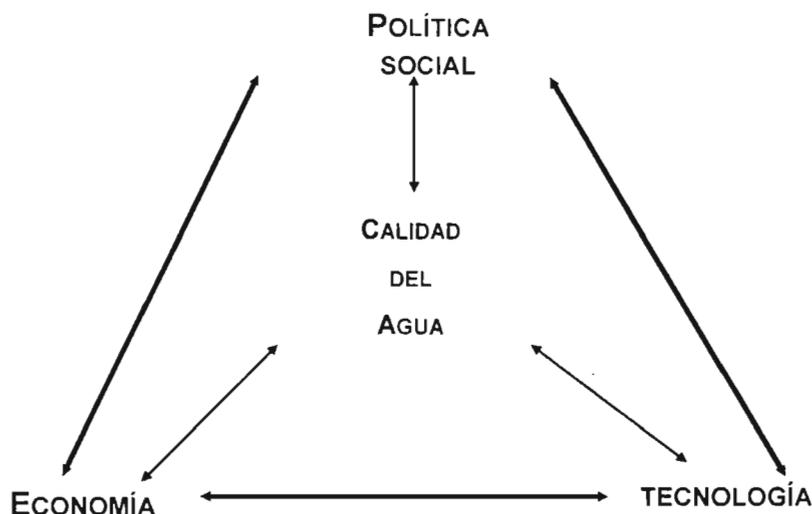
La división del territorio nacional en cuencas administrativas obedece a los siguientes principios rectores:

- 1.- El desarrollo del país debe darse en un marco de sustentabilidad.
- 2.- El agua es un recurso estratégico y de seguridad nacional.
- 3.- La unidad básica para la administración del agua es la cuenca hidrológica, ya que es la forma natural de ocurrencia del ciclo hidrológico.
- 4.- El manejo de los recursos naturales debe ser integrado.
- 5.- Las decisiones se toman con la participación de los usuarios al nivel local, en función de la problemática a resolver.¹

No obstante, la problemática se ha ido incrementado a pasos acelerados, lo muestra el hecho de que los principales focos de contaminación y de deterioro de los ecosistemas, se localizan en las principales ciudades y puertos industriales o tienen su origen en ellos, afectando las cuencas hidrológicas y los diversos ecosistemas.

¹ Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, CNA

Debido a estas tendencias se observan ya insuficiencias críticas de agua limpia en algunas regiones, un ejemplo es la Ciudad de México, en consecuencia su obtención tendrá un costo cada vez más elevado, por lo que es urgente se tomen medidas para controlar y disminuir la contaminación, siendo necesario considerar los factores políticos, sociales y tecnológicos en interacción y que la calidad y suministro del agua no se vea aún más afectada.



En las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan 46, 8.5, y 8.2 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, respectivamente. En conjunto equivalen al 34% del total a escala nacional, estimado en 184 metros cúbicos por segundo; de éstos, los 105 corresponden a descargas municipales y 79 a descargas industriales, por lo que se puede observar que la contaminación del agua por uso doméstico es mucho mayor que a nivel industrial.

La problemática expuesta es sumamente compleja y no es que se magnifique el problema. Pero si se considera que algunas instalaciones para tratamiento de aguas residuales municipales, se detectan deficiencias importantes como son: diseño inadecuado, ubicación desfavorable por condiciones topográficas o por la localización de las redes de alcantarillado; obras inconclusas tanto en la red como instalaciones de bombeo, en equipo o carencias de instalaciones eléctricas y la falta de recursos no permiten ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado ni mejorar los sistemas de tratamiento. Por otro lado, la insuficiencia de personal capacitado para operar y mantener en buenas condiciones las instalaciones mencionadas, es otro problema serio. A esto se agrega que el país no cuenta con la tecnología suficiente para la fabricación de equipo de medición y de tratamiento.

1.4. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA HACIA EL HOMBRE Y SU MEDIO.

Los efectos en el hombre son bastante serios, afectando principalmente su salud cuando éste ingiere directamente agua contaminada o en su defecto cuando consume productos irrigados con agua contaminada. Dependiendo de la concentración de los contaminantes en el agua el efecto será a corto, mediano y largo plazo.

Por otra parte, la contaminación al medio se manifiesta en la fauna y vegetación, por donde pasa el agua contaminada. Por ejemplo al descargar aguas residuales con nutrientes y que al llegar a los cuerpos receptores propagan vegetación nociva como las algas (ríos, lagos, lagunas, etc.), que se reproducen rápidamente cubriendo la superficie del cuerpo receptor, impidiendo que la fauna acuática sobreviva, al faltar o disminuir el oxígeno y luz solar; así se podrían nombrar algunos otros ejemplos.

1.5. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES EMISORAS CONTAMINANTES.

Las fuentes emisoras de contaminantes al agua se pueden considerar dos grandes grupos:

- a) Ciudades (aguas domésticas o urbanas)
- b) Industrias (aguas residuales industriales)

En la tabla 1-2 se observa el volumen descargado por tipo de industria y la carga de materia orgánica, en lo que se refiere a los volúmenes y decarga de contaminantes para las aguas residuales domésticas se tratarán más ampliamente en el capítulo correspondiente.

TABLA 1-2. VOLUMEN DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, 2002.

Giro Industrial	Descarga de aguas residuales (m ³ /s)	Materia orgánica generada (miles de t/año)
Acuacultura	67.6	7
Azúcar	45.9	1,750
Petrolera	11.4	1,186
Servicios	10.3	183
Química	6.9	406
Celulosa y Papel	5.5	108
Agropecuaria	3.2	1,063
Alimenticia	3.0	193
Cerveza y Malta	1.6	272
Minera	0.8	56
Textil	0.7	14
Destilería y Vitivinicultura	0.4	230
Beneficio de Café	0.3	32
Curtiduría	0.1	9
Otros Giros*	12.9	795

Fuente: CNA (1), 2003.

Notas: Los datos que aquí se muestran, difieren de los publicados en la edición anterior de este libro, debido a la rectificación de estudios realizados por la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua.

* Incluye giros no considerados en el listado de giros industriales (manufactura, acabado de metales, metalmecánica).

1.6. CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES EN EL AGUA.

Los contaminantes en las aguas residuales se clasifican de acuerdo a las propiedades de los mismos, por lo que la clasificación de los contaminantes caracteriza a las aguas residuales, en función de lo anterior se da la siguiente clasificación:

Características Físicas: Los contaminantes que dan una característica física al agua residual son el total de sólidos, temperatura, color y olor.

Características Químicas: Los contaminantes que integran las características químicas son la materia inorgánica y orgánica, además de los gases.

Características Biológicas: Los aspectos biológicos incluyen tanto los protistas (bacterias, hongos, protozoos y algas), como plantas (helechos, musgos y algas), encontrándose también algunos virus y en especial aquellos que provocan alteraciones en los ecosistemas o epidemias en los humanos.

2. MARCO DE REFERENCIA.

Como marco de referencia y fundamento del presente proyecto se encuentran el Plan Nacional de Desarrollo, leyes, reglamentos y normatividad referente a la contaminación del agua, así como planes de saneamiento nacionales.

2.1. EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2001-2006.

Transición demográfica y uso de recursos naturales

Otra consecuencia de la transición demográfica es el cambio en el uso de recursos naturales. En los últimos 30 años, la población del país se ha duplicado y el consumo de bienes y servicios, en términos reales, se ha triplicado. Esto ha modificado profundamente nuestra relación física con el medio ambiente.

Otro efecto grave del crecimiento demográfico sobre el medio ambiente se refleja en la contaminación y en el dispendio de agua que alcanza niveles críticos.

En el año 2000 México presenta altos niveles de degradación ambiental, como se muestra en los siguientes ejemplos:

- De las 100 cuencas hidrológicas del país, 50 están sobreexplotadas, y extensas regiones del país tienen problemas de abasto de agua.
- La contaminación del aire y del agua en las grandes ciudades del país ha alcanzado niveles tales que tiene efectos negativos sobre la salud y el bienestar de la población.

El medio ambiente es prioritario. Se trata de un mandato social, de una convicción de gobierno, de una estrategia para el crecimiento de largo plazo y, finalmente, de un requerimiento ético y comercial de la nueva convivencia internacional. El medio ambiente es una prioridad para el Ejecutivo federal y para el Plan Nacional de Desarrollo, toda vez que el desarrollo de la nación no será sustentable si no se protegen los recursos naturales con que contamos. Se ha visto cómo la degradación del capital natural del planeta ha producido cambios climáticos que afectan negativamente a las actividades humanas, y ello confirma la necesidad de conservar de manera racional los recursos naturales de nuestro país.

Sustentabilidad.

La otra gran área excluida del proceso de formación de la nación mexicana ha sido la protección de la naturaleza. Tierra, aire, agua, ecosistemas naturales y sus componentes, flora y fauna, no han sido valorados correctamente y, por mucho tiempo, se les ha depredado y contaminado sin consideración.

La excepcional biodiversidad de la que nuestro país ha sido dotado como patrimonio natural ha sufrido daños considerables y debe preservarse para las generaciones futuras. Es un hecho que en los procesos de desarrollo industrial, de urbanización y de dotación de servicios, los recursos naturales no se han cuidado de manera responsable, al anteponer el interés económico a la sustentabilidad del desarrollo.

Este proceso de devastación tiene que detenerse. El desarrollo debe ser, de ahora en adelante, limpio, preservador del medio ambiente y reconstructor de los sistemas ecológicos, hasta lograr la armonía de los seres humanos consigo mismos y con la naturaleza. Así, el desarrollo debe sustentarse en la vida porque de otra manera no sería sustentable en función del país que queremos.

Debemos asumir con seriedad el compromiso de trabajar por una nueva sustentabilidad que proteja el presente y garantice el futuro. El capital natural de nuestro continente, de nuestro país, debe preservarse. Y éste es, precisamente, el criterio que el gobierno promoverá para garantizar un sano desarrollo.

Los ejes de la política.

A fin de evaluar los logros en el fomento a la cohesión social, se recurrirá a información sobre procesos de participación comunitaria, funcionamiento de organizaciones civiles y sociales, y existencia de valores solidarios.

La presente administración establecerá diversas medidas y proyectos cuyos objetivos son crear conciencia de la identidad entre bienestar y medio ambiente; construir una cultura de evaluación de prácticas productivas y de resultados de programas sociales basada en el criterio de que el deterioro de la naturaleza es un efecto inaceptable; fomentar un mayor conocimiento sobre el deterioro al medio ambiente que provocan ciertas prácticas sociales y productivas; desarrollar, en suma, una concepción de desarrollo en armonía con la naturaleza. Éste es, por tanto, el quinto eje de la acción de gobierno en torno al desarrollo social y humano.

La visión del México al que aspiramos en el año 2025 puede sintetizarse así: México será una nación plenamente democrática con alta calidad de vida que habrá logrado reducir los desequilibrios sociales extremos y que ofrecerá a sus ciudadanos oportunidades de desarrollo humano integral y convivencia basadas en el respeto a la legalidad y en el ejercicio real de los derechos humanos. Será una nación dinámica, con liderazgo en el entorno mundial, con un crecimiento estable y competitivo y con un desarrollo incluyente y en equilibrio con el medio ambiente. Será una nación orgullosamente sustentada en sus raíces, pluriétnica y multicultural, con un profundo sentido de unidad nacional.

2.2. LEYES Y NORMAS APLICABLES.

La *Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)*, decretada el 28 de enero de 1988 y reformada el 7 de enero de 2000, establece en su Título tercero referente al Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales, Capítulo I, las disposiciones generales reglamentarias para el aprovechamiento sustentable del Agua y los Ecosistemas Acuáticos.

Entre los artículos que se pueden destacar se encuentran el 88 relativo al aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos que en la fracción III indica se debe mantener los caudales básicos de las corrientes de agua, así como la capacidad de recarga en los acuíferos.

En el artículo 89 menciona los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos, entre las principales fracciones son: II que dice el "otorgamiento de concesiones, permisos y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico", la fracción V indica "las suspensiones o revocaciones de permisos, concesiones o asignaciones otorgados conforme a las disposiciones previstas en la Ley de Aguas Nacionales en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico y la fracción VI que señala, la operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrial.

Así también, en el artículo 92 indica que con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente de agua, el tratamiento de aguas residuales y su reuso.

Y el artículo 93 dice que la Secretaría, realizará las acciones necesarias para evitar, y en su caso controlar procesos de eutroficación, salinización y cualquier otro proceso de contaminación en las aguas nacionales.

En diciembre de 1992 se publica la Ley de Aguas Nacionales (LAN) que establece que la Comisión Nacional del Agua (CNA) tendrá a su cargo el ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la Contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, conforme a lo que establece la propia LGEEPA, salvo a lo que corresponda a otra dependencia conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

La *Ley de Aguas Nacionales* es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas Nacionales y cuyo objeto es regular la explotación, uso y aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su calidad y cantidad para lograr un desarrollo integral sustentable. En su Título segundo, Capítulo I, el artículo 4o. indica que la autoridad y administración en materia de aguas Nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien ejercerá directamente o a través de la CNA.

El Capítulo Único del Título Séptimo de la LAN se refiere a la prevención y control de la Contaminación de las aguas, mismo que es reglamentado a través del *Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN)* expedido el día 12 de enero de 1994. En estos instrumentos legales se establece la responsabilidad de las personas físicas y morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso, para reintegrarlas en condiciones adecuadas a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

Los artículos 135, 136 y 137 del RLAN establecen en términos generales, en el caso de las descargas de los sistemas públicos del alcantarillado y drenaje a cuerpos receptores, se deberá cumplir con lo siguiente:

- a) Contar con permiso de descarga de aguas residuales que expida la CNA.
- b) Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a cuerpos receptores para cumplir con los términos en el permiso de descarga.
- c) Cubrir el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes de dominio publico de la Nación como es el caso de cuerpos receptores.
- d) Operar y mantener por si o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y tratamiento de aguas residuales.
- e) Sujetarse a la vigilancia y fiscalización de la CNA.
- f) El registro, monitoreo continuo y control de descargas de aguas residuales que se vierten a la red de alcantarillado. Se deberán monitorear la presencia de materiales y/o residuos peligrosos.
- g) Verificación del estado de las redes de alcantarillado para detección de posibles fugas a las aguas subterráneas.
- h) Los usuarios de las redes de drenaje o alcantarillado deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) correspondientes para pretratamiento o para cumplir con la condiciones particulares de la descarga.
- i) Se deberán cumplir con las NOM y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga (CPD) para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de sustancias que pueden contaminar la calidad de las aguas Nacionales y los cuerpos receptores.

El artículo 140 establece que la CNA determinará las CPD con base en los parámetros y límites máximos permisibles contenidos en las NOM que emitan las autoridades competentes en materia de descargas de aguas residuales y para el tratamiento de agua para uso o consumo humano, así como los parámetros y límites máximos que deriven de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales que se publiquen en términos del artículo 87 en la LAN.

Cabe mencionar que en 1996 se emitió la Norma Oficial Mexicana *NOM-001-SEMARNAT-1996* donde se abrogan un gran número de normas, las cuales se denominaban de acuerdo a cada tipo de industria, para consulta de la norma antes mencionada se ubica en el *Anexo A-1*, ya que es parte fundamental en el presente trabajo.

Concesión.

La LAN considera en el Título octavo, la participación de inversión privada y social en obras hidráulicas federales, promoviendo y fomentando la participación de los particulares en el financiamiento, construcción y operación de esta infraestructura, así como en la prestación de los servicios respectivos.

Pago de derechos de uso de cuerpos receptores.

En el mes de febrero de 1993 se decreta la *Ley Federal de Derechos (LFD)* en Materia de Agua, establece que se pagaran por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio publico de la Nación, así como para recibir servicios que presta el Estado en sus funciones de derecho público, excepto cuando se presten por organismos descentralizados y órganos desconcentrados y en este último caso, cuando se trate de contraprestaciones que no se encuentren previstas en esta Ley.

El Capítulo XIV del Título II de la LFD está dirigido al derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales. En su artículo 276 se establece que las personas físicas y morales que descarguen aguas residuales en forma permanente, intermitente o fortuita en ríos, cuencas, cauces, vasos y aguas marinas están obligados a pagar el derecho por uso o aprovechamiento de estos cuerpos receptores ya que se consideran bienes del dominio publico de la Nación, en este mismo caso se encuentran los que descarguen aguas residuales en los suelos o las infiltran en terrenos que sean bienes Nacionales o que pueden contaminar el subsuelo o los acuíferos.

Este pago de derechos es independiente del cumplimiento de lo dispuesto en la LGEEPA.

El cálculo del pago de derecho por el uso por aprovechamiento de cuerpos receptores en materia de los artículos 278, 278A, 278B, 278C, en términos generales establece los siguientes aspectos:

- a) El pago de derechos se realiza conforme a la zona de disponibilidad.
- b) Una de las opciones de pago considera tres conceptos: pagar por metro cúbico la descarga, kilogramos de demanda química de oxígeno, con base en la concentración excedente, respecto a las CPD o en su caso a las NOM aplicables y kilogramos de sólidos suspendidos totales, excedente respecto a CPD o NOM.

A partir de 1983, las reformas y adiciones al artículo 115 Constitucional establecen la responsabilidad de los municipios del servicio de agua y alcantarillado en un marco propicio para la descentralización.

Así mismo, con base en los lineamientos de estrategia del gobierno federal y en particular en relación con los propósitos de la Política de la Modernización Financiera, adquiere especial relevancia la selectividad en el otorgamiento de recursos fiscales para concentrarlos en los sectores mas necesitados, así como el impulso gradual a una Política tarifaria pendiente al autofinanciamiento de las inversiones, la operación, el mantenimiento y rehabilitación de los sistemas de agua potable y alcantarillado.

El 17 de Mayo de 1990 el Ejecutivo Federal, a través de la CNA, dio a conocer el documento Lineamientos del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento, como instrumento rector de las actividades del subsector en la materia, mismo que se puso en marcha en la misma fecha.

Por la necesidad de proteger y mejorar las condiciones del medio ambiente, se ha previsto en el programa un componente especial de saneamiento, dirigido a la rehabilitación ampliación y/o construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Negras en las zonas prioritarias.

El Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PAPAS) se orienta a cubrir el rezago existente y atender las demandas del crecimiento de la población en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Sus principales componentes en materia de saneamiento son:

- a) Para zonas urbanas con poblaciones de más de 2,500 habitantes, se aplicará el Programa Nacional de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas.
- b) Para la zona fronteriza norte se aplicara el anterior Programa Integral Ambiental Fronterizo y el actual Programa Fronterizo XXI.
- c) Para las principales cuencas hidrológicas con el Programa de Saneamiento de Cuencas, donde destaca el Programa de Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chápala y el Programa de Saneamiento del Valle de México.

Su puesta en marcha implica la búsqueda de nuevas formas de financiamiento que conjugaran los esfuerzos de los distintos niveles de gobierno, con objeto de obtener mayores impactos en la realización de las acciones.

En enero de 1993 se editó el anexo al manual único de operación del Programa Nacional de Solidaridad y que en su contenido de fondo sigue vigente, correspondiente a la ejecución del PAPAS en Zonas Urbanas, cuyos principales elementos, que son tomados en cuenta para el desarrollo del presente estudio, serán descritos a continuación:

La participación del PAPAS se fomenta a través de la creación y/o fortalecimiento de Comités de Solidaridad y son los que participan en la ejecución y vigilancia permanente de las diversas etapas del proceso, garantizándose así la adecuada prestación de los servicios.

Los objetivos del PAPAS en forma resumida son:

- a) Mejorar cuantitativa y cualitativamente los servicios, abatiendo rezagos y ampliando su cobertura.
- b) Creación de organismos operadores municipales, regionales e intermunicipales.
- c) Apoyar la consolidación de los organismos operadores y eliminar gradualmente subsidios.
- d) Crear conciencia sobre el costo del agua y evitar su desperdicio.
- e) Contribuir a mejorar las condiciones del medio ambiente dando prioridad a las acciones que aminoren el impacto ambiental negativo.

Para lograr los propósitos establecidos en el PAPAS, esto se estructura para su ejecución en tres componentes:

- 1) Componente de consolidación de los organismos operadores municipales y/o estatales.
- 2) Componente de infraestructura para la rehabilitación y expansión de agua potable y alcantarillado.
- 3) Componente de saneamiento para la ampliación y/o construcción de plantas de tratamiento de aguas negras.

La operación del PAPAS esta dividido en dos grandes rubros, con especificaciones muy particulares para ciudades con población menor y mayor a los 80,000 habitantes.

La estructura financiera del programa será diferente para las ciudades mayores a 80,000 habitantes y para los centros turísticos de Cancún, Los Lobos, Mazatlán, Puerto Vallarta, Acapulco, Ixtapa-Zihuatanejo, Huatulco, Loreto, Cozumel y Manzanillo.

La estructura que se adopta es la siguiente:

TABLA 2-1. ESTRUCTURA FINANCIERA DEL PAPAS.

Concepto	Crédito Y GIC (*)	Recursos Fiscales(**)	Iniciativa Privada
Agua potable	100%	0	0
Drenaje sanitario	0%	100%	0
Plantas de tratamiento de aguas residuales:			
Tratamiento primario	100%	0	0
Tratamiento secundario	0	0	100%
Consolidación (***)	0	100%	0

* El porcentaje de la generación interna de caja (GIC) será la que designe cada organismo operador.

** recursos fiscales 50% federal y 50% estatal.

*** no se requiere integrar GIC

Es Política del Gobierno Federal propiciar la prestación de servicios públicos por parte de la iniciativa privada. En el caso particular de los servicios de agua y saneamiento, esta forma de proceder puede tener las siguientes ventajas:

- √ Al operar con mayor autonomía, se puede lograr mas eficiencia en beneficio de los usuarios y del prestador del servicio.
- √ Se separan mas claramente las funciones de la autoridad, de rectoría y vigilancia del cumplimiento de las normas de calidad del servicio y protección sanitaria y ecológica, de la obligación del operador de cumplir dichas normas.
- √ Se logra mayor continuidad en los esfuerzos para mejorar la eficiencia y los servicios, que se ven menos afectados por los cambios en la administración pública.
- √ Es una forma de incorporar mayores recursos financieros y tecnología al sector.

Las diversas modalidades de participación del sector privado son fundamentalmente:

1. **Financiamiento, Construcción y Entrega.**- El esquema comprende la construcción de infraestructura por parte de la empresa privada y el organismo operador se obliga a cubrir la inversión realizada en términos preestablecidos.
2. **Financiamiento, Construcción y Operación.**- El inversionista privado financia, construye y opera el sistema. El organismo operador paga por este tipo de servicios, en base a un precio por metro cúbico de agua entregado al sistema, o bien, por descarga tratada, según sea el caso, sin que la entidad privada se involucre en el cobro directo a los usuarios.
3. **Contratación de servicios para operar sistemas.**- En esta modalidad, el organismo operador contrata con el sector privado la operación del sistema, incluyendo los aspectos comerciales y la realización con los usuarios. La empresa contratada cobra una cantidad determinada previamente por sus servicios y administra los fondos recaudados.
4. **Concesión de Servicios.**- En este esquema, el sector privado opera el sistema con una tarifa pactada, cobra a los usuarios por los servicios, cubre los costos de operación y mantenimiento y genera un margen razonable de utilidades. En contraprestación por la concesión, podrá establecerse un porcentaje de la recaudación que la empresa entrega al municipio otorgante de la misma.

3. CARACTERÍSTICAS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Para comprender la naturaleza de las características físicas, químicas y biológica de las aguas residuales es imprescindible profundizar en las mismas, y poder aplicar una metodología de remoción de contaminantes en las aguas residuales.

3.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los principales parámetros que se emplean para caracterizar al agua residual se citan en la tabla 3-1. Algunos de estos parámetros están relacionados entre sí, por ejemplo, la temperatura es un parámetro físico que afecta tanto a la actividad biológica del agua residual como a la cantidad de gases disueltos en ella, considerando a estos gases como parámetros químicos.

En cuanto a la composición de las aguas residuales, ésta se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que se encuentran presentes en ellas. Dependiendo de la cantidad de estos componentes, el agua residual se puede clasificar como fuerte, media o débilmente contaminada, como se indica en la tabla 3-2 para agua residual doméstica que es motivo de esta investigación.

Respecto a lo anterior, es pertinente mencionar que tanto la composición como la concentración de un agua residual varían con la hora, el día, el mes, el año y estación, así como hábitos particulares de la población.

TABLA 3-1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL. ²

Parámetro	Origen
<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</i>	
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
<i>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</i>	
Orgánicos:	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Grasas animales y grasas minerales	Residuos industriales, comerciales y domésticos
Agentes tensoactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos industriales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Inorgánicos:	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua doméstica residuos industriales e infiltración de aguas subterráneas
Alcalinidad	Residuos domésticos, suministro de agua doméstica e infiltración de aguas subterráneas
Nitrógeno	Residuos agrícolas domésticos
Fósforo	Residuos industriales y domésticos
Azufre	Suministro de agua doméstica y residuos industriales
Compuestos tóxicos	Residuos industriales e infiltración de aguas subterráneas
Metales Pesados	Residuos industriales
Gases:	
Oxígeno	Suministro de agua doméstica e infiltración de agua de superficie
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de aguas domésticas
Metano	Descomposición de aguas domésticas

² Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Dirección Técnica.

TABLA 3-1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL. (CONTINUA)

Parámetro	Origen
<i>CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS</i>	
Virus	Residuos domésticos
Vegetación	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Fauna	Corrientes de agua al descubierto y plantas de tratamiento
Patógenos y parásitos	Corrientes de agua al descubierto, residuos domésticos y plantas de tratamiento

TABLA 3-2. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

(todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en MG/L).²

Constituyentes	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	700	360
Disueltos totales	850	500	250
fijos	525	300	145
volátiles	325	200	165
Suspendidos totales	350	200	100
fijos	75	50	30
volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml/l)	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20°C, (DBO ₅ 20°C)	300	200	100
Carbon orgánico total (COT)	300	200	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	500	250

² Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. DDF

TABLA 3-2. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA (CONTINUA)

(todos los valores excepto los sólidos sedimentables se expresan en MG/L).

Constituyentes	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
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)	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros	190	50	50
Alcalinidad (como CaCO ₂)	200	100	50
Grasa	150	100	50

a) Características físicas.

Se considera que la característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, la cual ésta compuesta por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución y sólidos sedimentables; otras características físicas importantes son la temperatura, color, olor y turbiedad.

Sólidos Totales. Sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y para nuestro interés del uso doméstico. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura entre los principales.

Analíticamente, el contenido total de sólidos en el agua residual se define como toda 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 o residuo de evaporación puede clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables a base de hacer pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables.

Olor. Los olores son debidos, entre otras cosas a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos o sulfitos.

Conductividad. La conductividad es la expresión numérica de la capacidad o habilidad de una solución acuosa de conducir una corriente eléctrica. La conductividad o conductancia específica, se define como la relación de la distancia (d) que existe entre dos electrodos de área conocida, entre el producto de la resistencia (R) que ofrece el conductor al paso de la corriente, y el área (A) de los dos electrodos en la disolución electrolítica. Mediante esta determinación, se permite conocer rápidamente las variaciones de las concentraciones de los minerales disueltos en las aguas residuales.

Temperatura. La temperatura del agua residual indica la cantidad de energía térmica contenida en ella. Las dos escalas de temperatura, Fahrenheit (°F) o Celsius (°C), están interrelacionadas por las dos ecuaciones siguientes:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$$

Ya que mediante tuberías enterradas se conduce el agua residual, la temperatura de la misma se acerca a la temperatura del suelo. De acuerdo con esto, las temperaturas de verano sobrepasan a las de invierno; la temperatura media anual del agua residual varia entre 10 y 20 °C.

En general, la tasa de actividad biológica depende de la temperatura. Así, si la temperatura se incrementa, los microorganismos aceleran el consumo de los compuestos orgánicos y el uso del oxígeno en el agua residual. El valor de la reacción, aproximadamente, se duplica con cada incremento de 12 °C en la temperatura, a mayores temperaturas se inicia la inhibición de la actividad biológica.

Un incremento significativo en la temperatura, por un período corto de tiempo indicará la presencia de descargas industriales, en tanto que un descenso en la temperatura a menudo se debe por agua de lluvia.

Color. El color del agua residual depende de la cantidad y tipos de materia disuelta, suspendida y coloidal presente. El agua residual típica es gris; si es oscura se tiene agua residual anaeróbica, este color oscuro indica la necesidad de una aireación posterior. Otros colores usualmente indican la presencia de descargas industriales.

Turbiedad. La turbiedad indica, generalmente, la cantidad de material suspendido en el agua, particularmente a bajas concentraciones de sólidos. La turbiedad no esta correlacionada directamente con la concentración de sólidos suspendidos porque el color puede interferir con la medición de turbiedad.

La turbiedad es una medida de la obstrucción óptica de la luz que pasa a través de una muestra de agua. La unidad patrón de la turbiedad es arbitraria y esto se debe a la gran variedad de materiales que la causan, siendo ésta la unidad siguiente:

1 mg SiO₂/l = 1 unidad de turbiedad

Sólidos. A partir de un análisis químico, los sólidos están divididos en varias fracciones diferentes. La determinación de varias formas de sólidos y sus concentraciones generan datos útiles para la caracterización del agua residual.

Los sólidos totales pueden ser divididos en sólidos suspendidos y disueltos. Cada uno de esos grupos puede ser dividido posteriormente en sus fracciones volátiles y fijas. Los sólidos totales representan la masa de material remanente después de que el agua se ha evaporado a una temperatura de 103 °C.

Los sólidos suspendidos, también referidos como residuo no filtrante, representan el peso de los sólidos remanentes en un filtro seguido de un secado a 103 °C. Los sólidos suspendidos volátiles representan la porción de sólidos suspendidos que se volatilizan cuando el filtro secado se calienta a 550 °C. Los sólidos fijos permanecen en el filtro.

Los sólidos disueltos, también llamados residuos filtrables, y los sólidos volátiles disueltos pueden ser determinados, ya sea tomando la diferencia entre los análisis de los sólidos totales y suspendidos de la misma muestra o mediante la evaporación del filtrado a partir del análisis de los sólidos suspendidos.

Los sólidos coloidales y flotables están incluidos en un grupo conocido como sólidos no sedimentables y contienen a menudo, una alta proporción de grasas y aceites, estando relacionados, generalmente, con grandes niveles de contaminación.

Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan en él líquido bajo condiciones de quietud.

b) Características Químicas.

El análisis químico del agua residual provee una amplia variedad de información concerniente a las características del agua residual, generando información sobre las concentraciones de sustancias específicas. Los constituyentes químicos pueden ser separados en numerosas categorías.

En algunos casos, las porciones soluble e insoluble de un parámetro deben ser diferenciadas. Tal información puede ayudar a determinar el funcionamiento esperado de un proceso para un nuevo diseño.

La distinción entre los componentes solubles e insolubles requiere de una primera medición para obtener el valor total del parámetro de interés y luego se repite el análisis de la muestra después de que haya sido filtrada a través de una membrana para determinar la concentración soluble. La parte insoluble representa la concentración total menos la parte soluble.

- pH. El pH es una medida de concentración de iones de hidrogeno en una solución. La escala de pH, varia de 1 a 14, con un valor neutro de 7. Los valores abajo de 7 indican una concentración ácida y arriba de 7 una condición básica. El pH es extremadamente importante en un tratamiento biológico de aguas residuales, ya que los microorganismos son suficientemente activos únicamente en un rango de pH de 6.5 a 8. Fuera de este rango, el pH puede inhibir o detener completamente la actividad biológica.
- Un agua residual típica tiene un pH cercano a 7, cualquier desviación significativa indica la presencia de descargas industriales.
- DBO₅. Esta prueba mide la cantidad de oxígeno requerido por una muestra durante cinco días para una estabilización biológica, ya que el valor de la actividad biológica depende de la temperatura y la completa estabilización puede requerir hasta veinte días, esta prueba ha sido estandarizada a condiciones de 20 °C durante 5 días y da una medida relativa de la cantidad del material alimenticio disponible para el sistema biológico, además el grado de estabilización del agua residual.
- La medición de la DBO₅ provee de una importante base para las consideraciones de diseño de una planta. Como se ha mencionado, esta prueba mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en la muestra. La cantidad de oxígeno requerido para oxidar únicamente la materia orgánica carbonada (no el nitrógeno) se refiere a la DBO carbonacea. Si la muestra sigue reaccionando, se inicia una segunda fase de la oxidación biológica, conocida como nitrificación, durante esta fase, un grupo de bacterias convierten amoniaco a nitrito y nitrato.
- Los valores de DBO₅ para un agua residual típica doméstica varían de 100 a 250 mg /l.
- DQO Demanda química de oxígeno. Este procedimiento da un estimado rápido de la DBO en una muestra y da resultados en 3 o 4 horas basándose en la oxidación química de la muestra. Los resultados de la DQO son normalmente mayores a los valores de DBO.

La relación típica entre los valores de DBO y DQO es de 0.5:1 para aguas residuales, siendo el rango de DQO para un agua residual típica de 200 a 600 mg/l.

Nitrógeno. En el agua residual típica, el nitrógeno aparece en cuatro formas básicas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal (ionizado o amoniaco libre), nitrito y nitrato. El agua tiene normalmente mayores concentraciones de nitrógeno orgánico y amoniacal que de nitritos y nitratos. Como el nitrógeno orgánico es metabolizado, cambia primero a amoniacal y luego, si las condiciones son adecuadas, a nitritos y nitratos. En suma, la masa biológica es asimilada y, por lo tanto, se remueve algo de nitrógeno.

Los rangos típicos de concentración de nitrógeno en aguas residuales típicas son de 20 a 85 mg/l, para nitrógeno total (suma de nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos); de 8 a 35 mg/l, para nitrógeno orgánico y de 12 a 50 mg/l para nitrógeno amoniacal. Se tienen concentraciones mucho menores de nitritos y nitratos. Cuando se tienen altos valores de DBO y bajos niveles de nitrógeno, el agua residual puede llegar a estar limitada en nitrógeno y, de ser así, para completar la estabilización de la DBO se requerirá de la adición de nitrógeno.

Fósforo. El fósforo, como el nitrógeno, asume diferentes formas en el agua residual y sirve como un elemento esencial para el crecimiento biológico y la reproducción. El fósforo puede estar presente como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico y son medidos en combinación, como fosfato total.

Los niveles de fósforo en un agua residual típica varía de 2 a 20 mg/l, incluyendo de 1 a 5 mg/l de fósforo orgánico y de 1 a 15 mg/l de fósforo inorgánico.

Grasas y aceites. Las grasas y aceites (GA) en las aguas residuales pueden presentarse como material flotante. Las GA pueden ser partículas discretas flotantes, material emulsificado o como solución; pueden clasificarse como no polares y polares. Las polares, usualmente biodegradables, provienen de animales, en tanto que las no polares, mucho menos biodegradables, usualmente provienen de derivados del petróleo.

c) Características Biológicas.

Las pruebas bacteriológicas determinan la presencia de organismos patógenos o de bacterias en el agua residual. Una prueba para todos los posibles patógenos es imposible, el procedimiento aceptado incluye las pruebas para lo que se conoce como indicador de bacterias. Su presencia se señala como presencia de patógenos.

El indicador de bacteria más comúnmente usado incluye coliformes totales y fecales, *E. coli*, *enterococci* y, en pocas ocasiones, *streptococcus fecal*.

Indicador de bacteria para patógenos. Tanto los coliformes fecales como los totales son encontrados en gran Número en el ambiente y en el agua residual.

Los coliformes fecales y totales no son por si mismos patógenos, pero son usados como un indicador de los organismos, ya que tienden a resistir los efectos de la desinfección mejor que la mayoría de los patógenos, son más Numerosos que los patógenos y son más fácilmente contados.

Por lo tanto, un bajo Número de coliformes sugiere que pocos, si es que algunos organismos patógenos sobreviven. Ambos coliformes son reportados en unidades de colonias por 100 ml, si la técnica de filtro de membrana es utilizada, o como el Número Más Probable (NMP) por cada 100 ml si el método utilizado es el de tubos múltiples.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.

Para definir el tipo de tratamiento y la capacidad de la planta se deben conocer el flujo del agua a tratar, las características físicas, químicas y biológicas del agua y el cuerpo receptor o uso.

Dentro del proceso de caracterización del agua residual se distinguen tres etapas principales, que son: aforo, muestreo y análisis.

- **Aforo.**

Esta actividad permitirá conocer el flujo de agua a tratar y además ayudará a determinar la calidad del agua a tratar. La corriente de agua puede fluir en canales subterráneos de difícil acceso. Un examen cuidadoso del sistema de alcantarillado puede revelar cajas de registro o registros donde puede instalarse algún tipo de dispositivo de medida.

Los principales dispositivos de medición son los siguientes:

- ◆ Para canales abiertos.
 - Vertederos.
 - Canales.
 - Medida del tiempo de flotadores.
 - Moulinete.
- ◆ Para descarga de tubos abiertos en un extremo.
 - Método de la medida del tiempo de descarga.
 - Moulinete.

A continuación se describen brevemente estos métodos.

Vertederos. Se usan con frecuencia, debido a su simplicidad y relativa facilidad de manejo. Los más utilizados son los rectangulares y del tipo ranura en V. Los rectangulares se emplean para medir flujos entre 100 y 4,000 gpm y los de ranura en V son más precisos para flujos bajos y son usados ampliamente para medidas entre 20 y 400 gpm.

El flujo es proporcional a la altura de agua por encima del punto más bajo de la abertura del vertedero. La carga puede medirse manualmente con un calibrador o automáticamente mediante un mecanismo de flotación.

Canales. Se emplean para medir flujos en zanjas y canales abiertos, donde solo se disponen de caídas de carga pequeñas. El canal puede medir con precisión flujos de 45 a 2,800 gpm, por ejemplo un Parschall.

- Flotadores. Para medir flujos en canales grandes o corrientes receptoras, un procedimiento útil para estimar los flujos, es calcular la sección promedio de la corriente sobre un segmento elegido de longitud conocida; entonces, aguas arriba del segmento de prueba seleccionado, se tira un flotador adecuado sobre el agua y se mide el tiempo que el flotador toma en recorrer la longitud del segmento de prueba. Para reducir al mínimo los efectos del viento, el flotador debe estar casi sumergido en el agua.
- Descarga. Es apropiado para medir flujos pequeños, por debajo de 30 gpm y donde sea posible recoger la descarga en un recipiente debajo de la descarga y se mide el tiempo que toma para llenar el recipiente. Esta operación se repite tres veces al menos.
- Moulinete. Este aparato es de muy fácil uso y consiste en sumergirlo en la corriente a medir y por el Número de revoluciones que da en un tiempo se puede definir el flujo. Cabe señalar que este dispositivo debe estar sumergido por completo en el agua.

Cualquiera de los métodos descritos debe aplicarse estrictamente a un programa de aforo, el cual dura de una a dos semanas, efectuando las mediciones cada hora durante 24 horas continuas para obtener la variación representativa en las aportaciones de agua residual.

- **Muestreo.**

La toma de muestras deberá cumplir con los criterios establecidos en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996, que tipo de muestra se debe considerar para efectuar el análisis y cuales serán los intervalos de tiempo y número de muestras que se tomaran. El muestreo repetido indica las fluctuaciones reales en la calidad del agua, además el muestreo frecuente permite establecer los valores medios y su variación, así como el grado de fluctuación en la calidad. Para este fin, las muestras deberán representar verdaderamente a la masa de agua de la que se toma.

◆ Muestras simples.

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times (Qi / Qt)$$

Donde:

$VMSi$ = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Qt = $\sum Qi$ hasta Qn , litros por segundo

◆ Muestra compuesta.

Es la que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1 de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

- **Análisis.**

Para efectuar los análisis se deben considerar las normas mexicanas que establecen los procedimientos para la determinación de las características de los parámetros que se requieran. En general, los análisis de aguas negras se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- ◆ Análisis que miden o reflejan la concentración de la contaminación de las aguas negras, estas se subdividen en:
 - Análisis para materia sólida en sus varios estados; de aquí la ofensividad de las aguas negras al sentido de la vista, sólidos totales en suspensión, disueltos y sedimentables, grasa y turbidez.
 - Análisis para materia orgánica para la ofensividad potencial de las aguas residuales al sentido del olfato, componentes volátiles de los sólidos totales en suspensión, disueltos y sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sulfuros, nitrógeno orgánico, olor, surfactantes y grasa.

En conjunto, estos análisis miden o reflejan la concentración de las aguas negras en relación con los sólidos y materia orgánica.

- ◆ Análisis que miden la composición de las aguas negras con respecto a las sustancias o tipo de sustancias específicas, además de las incluidas en el párrafo anterior:
 - Análisis para las diversas formas de nitrógeno amoniacal, orgánico (Kjeldahl), nitritos y nitratos.
 - Análisis para fosfatos y otras sustancias fertilizantes.
 - Pruebas para oxígeno disuelto, cloruros, sulfuros, acidez y alcalinidad.
 - Pruebas para radiactividad y sustancias radiactivas.
 - Bioensayos para residuos tóxicos agudos.

- ◆ Pruebas que miden la condición de las aguas negras y que explican el progreso de la descomposición de las sustancias orgánicas en las aguas residuales, afluentes y aguas receptoras:
 - Pruebas físicas, químicas y biológicas OD, DBO, DQO, sulfuros, olor, nitrógeno en sus diversas formas, pH y temperatura.
 - Pruebas biológicas, crecimiento de bacterias (incluyendo organismos coliformes).
 - Pruebas funcionales, entre ellas:
 - Pruebas para demanda de cloro.
 - Pruebas para DBO, que es, en si misma, una prueba funcional que predice los requerimientos de oxígeno de los afluentes y la degradabilidad de sustancias específicas como detergentes sintéticos, especialmente cuando se emplean muestras del agua receptora para hacer las diluciones necesarias.
 - Pruebas para la velocidad de la demanda de oxígeno de aguas negras, crudas o clarificadas, es decir, a continuación del tratamiento primario.

Con base en lo expresado anteriormente, los parámetros más importantes que se deben analizar a las muestras recolectadas son los siguientes:

- Demanda química de oxígeno.
- Demanda bioquímica de oxígeno.
- Sólidos totales.
- Sólidos suspendidos totales.
- Sólidos disueltos totales.
- Grasas y aceites.
- Sólidos sedimentables.
- pH.
- Nitrógeno amoniacal y orgánico.
- Fósforo.
- Metales pesados.
- Coliformes.

Es importante mencionar que en el presente trabajo no se realizará ninguna de estas actividades, ya que no existe la infraestructura necesaria para la colección del agua residual por lo que respecta a las características del agua a tratar, sin embargo dada la existencia de normatividad que indican parámetros y concentraciones requeridas, se considerarán como mínimo los que se indican en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996.

4. TIPOS DE TRATAMIENTO.

Para el tratamiento de aguas residuales existen varios procesos de tratamiento; los cuales se pueden agrupar en tratamientos físicos, químicos o biológicos, no obstante lo anterior también se pueden clasificar en tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Se seleccionará el tipo de tratamiento dependiendo de los contaminantes que contiene el agua residual y de las características o calidad del uso al que se pretende destinar. El tratamiento primario lo debe aproximar a esa calidad; si la aproximación primaria no eliminó algún contaminante se selecciona otro tratamiento que sea compatible con el primero y que haga una segunda aproximación, llamándolo secundario; si aun no reúne las características se selecciona un tercero, y el conjunto de tratamientos será el sistema más adecuado al influente y al uso al mismo tiempo.

A Continuación se muestra en forma esquemática (figura 4-1) la clasificación de los diversos tratamientos existentes y principalmente los sistemas de tratamiento en estudio, objetivo del presente trabajo, los cuales son Lagunas de estabilización, tratamiento por lodos activados y tratamiento mediante biodiscos (RBC).

Los procesos de tratamiento terciarios son adicionales después del tratamiento biológico en el orden para remover residuos de tipo específico.

La filtración remueve sólidos suspendidos o coloidales, la adsorción por Carbón Granular Activado (GAC por su nombre en inglés) remueve orgánicos, la oxidación química también remueve orgánicos. Desafortunadamente, los sistemas terciarios no tratan grandes volúmenes de aguas residuales. Estos pueden también ser ineficientes puesto que los procesos son para contaminantes específicos. Por ejemplo, el diclorofenol puede removerse por ozonización o GAC.

Existen sistemas de tratamientos que pueden también ser modificados de manera amplia las capacidades y mejorar el funcionamiento, esto es mucho más práctico en las opciones anteriores. Un ejemplo, es adicionar Carbón Activado Pulverizado (PAC) en los procesos de tratamiento biológico que absorben orgánicos y microorganismos no degradables en el mercado se conoce como proceso PACT. Otro ejemplo, es adicionar coagulantes al final del tratamiento biológico para remover fósforo y sólidos suspendidos residuales.

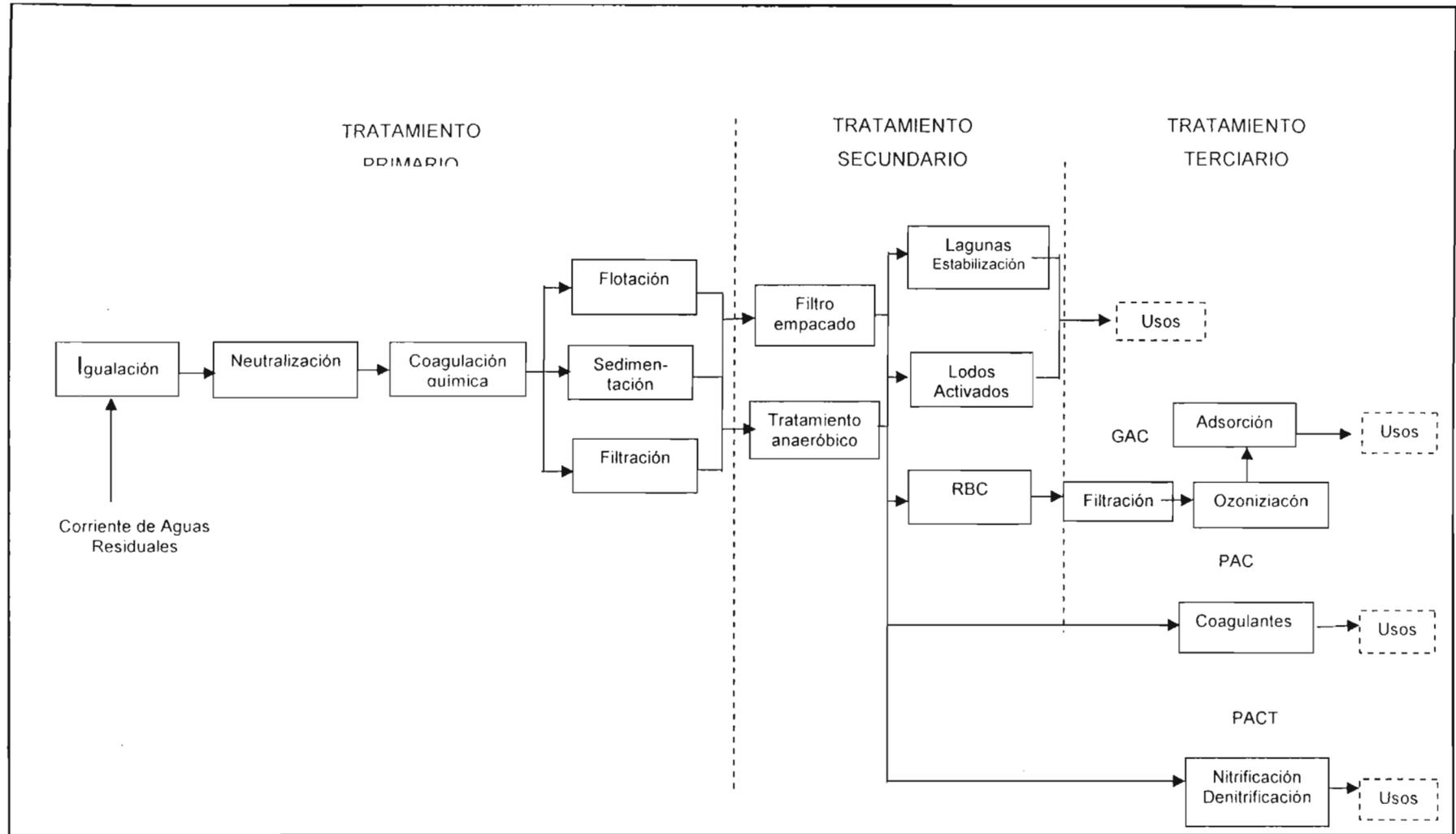


FIGURA 4-1. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES.

Fuente: Industrial Water Pollution Control, W Wesley Eckenfelder, Jr., 2ª Edition, McGraw-Hill Book Company.

La selección de un proceso para el tratamiento de aguas residuales o combinación de procesos depende de:

1. Las características de las aguas residuales se puede considerar la forma en que se encuentran los contaminantes, suspensión coloidal o disueltos, la biodegradabilidad y la toxicidad de los componentes orgánicos e inorgánicos.
2. Calidad requerida en el efluente se puede considerar también posibles restricciones futuras tales como límites de toxicidad en el efluente.
3. El costo y disponibilidad de tierra para cualquier tratamiento de aguas residuales. Una o más combinaciones de tratamientos pueden producir un efluente deseable. Solo una de las alternativas tendrá un costo y efectividad. El detalle del análisis de costos puede ser prioritario para la selección del diseño del sistema de tratamiento que se seleccione.

En muchos casos la calidad de las aguas residuales puede definirse a través de un criterio de diseño mediante la definición de los parámetros o de un laboratorio o de un programa de planta piloto.

Los metales pesados pueden ser tóxicos en los procesos biológicos y acumularse en los lodos biológicos, resultando una restricción en las opciones de disposición de lodos.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales que se expondrán más adelante son de tipo biológico el cual se basa en el proceso aparentemente simple, en el que una población mixta de microorganismos utiliza como nutrientes a las sustancias que contaminan el agua. Este mecanismo, por el cual las corrientes de aguas naturales, como los lagos y los ríos, sé autopurifican. Con el uso de técnicas de la ingeniería química, se ha intensificado y acelerado para suministrar un rango de sistemas biológicos de tratamiento de uso común en la purificación en gran escala de las aguas residuales, domésticas e industriales.

4.1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales, conocidos como lagunas de estabilización funcionan bajo las siguientes características: es un tratamiento convencional y requiere de constante movimiento mecánico y un mantenimiento regular con lo que se consigue la remoción de DBO y nutrientes. Más en varias partes del mundo no se puede proveer de energía y mantenimiento. En suma, en algunas áreas se requieren procesos de tratamiento de aguas residuales que no remuevan DBO pero remueven microorganismos patógenos que son una amenaza de infección con el gran rango de enfermedades relacionadas al agua.

Previendo otra alternativa con respecto a los procesos convencionales para aguas residuales por lagunas de estabilización, las cuales son poco profundas y que reciben un flujo continuo de aguas residuales. Generalmente el arreglo es en serie, las lagunas van recibiendo el flujo previo de las lagunas anteriores. El grado de tratamiento conseguido es función del número de lagunas en serie y el tiempo de retención de las aguas residuales en cada laguna. Una laguna requiere solamente un simple mantenimiento y exposición a la luz del sol para efectos de energía. Puesto que las lagunas utilizan como energía a la luz del sol. El tratamiento es lento, y el tiempo de retención de las lagunas en serie es medido en semanas y horas. Estas necesidades requieren grandes extensiones de superficie, que es la mayor desventaja, aceptada como una gran extensión de las lagunas como una opción de tratamiento. Sin embargo, en muchas partes del mundo son utilizadas por disponer de tierras y frecuentemente por abatir costos.

Si bien el papel importante de las lagunas de estabilización es la remoción de microorganismos patógenos, estos son capaces de estar inmóviles produciendo un efluente con baja DBO y baja concentración de nutrientes. El oxígeno es necesario para satisfacer los requerimientos de carbono y nitrógeno y la realización de la fotosíntesis de las algas y la relación del oxígeno producido determina la relación obtenida en oxidación aeróbica y heterotrófica. La DBO removida se considerará estática, como un resultado del metabolismo anaeróbico de sedimentación. En suma la ventaja de las lagunas es que tienen una alta resistencia a las cargas hidráulicas y orgánicas y pueden tolerar influentes con concentraciones de 30 mg/l de metales pesados.

Una clasificación típica de diferentes tipos de lagunas se muestran en la siguiente figura 4-2 y el funcionamiento de cada una de ellas se describe en la tabla 4-1. Los arreglos más comunes de las lagunas se tienen con lagunas anaeróbicas con lagunas facultativas, arregladas en serie y seguidas por un número de lagunas de maduración, aunque otros arreglos son posibles (figura 4-3). El número y tamaño de las lagunas de maduración dependerán de los requerimientos de calidad del efluente final. Las lagunas anaeróbicas frecuentemente se asocian con la producción de olores, sin embargo esto suele suceder por un mal diseño o característica intrínseca de las lagunas anaeróbicas y en vista de la eficiencia de remoción de DBO en algunas ocasiones es recomendada.

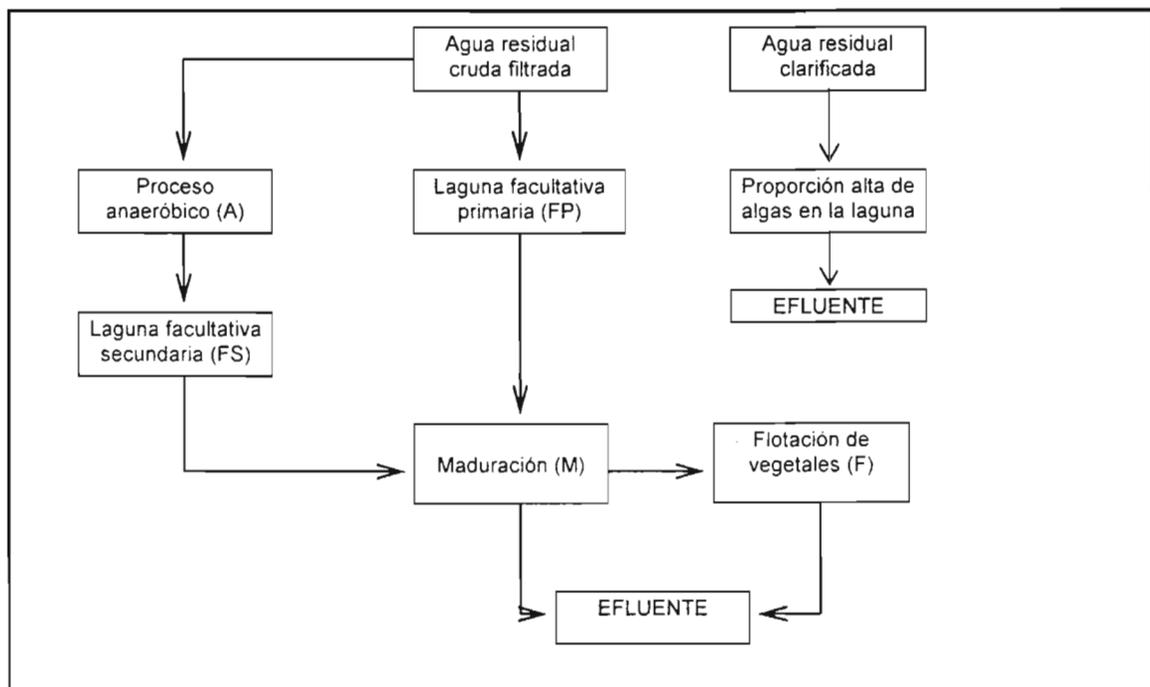


FIGURA 4-2. CLASIFICACIÓN DE ALGUNAS LAGUNAS TIPO Y EN BASE AL INFLUENTE RECIBIDO.

TABLA 4-1. FUNCIONES PRINCIPALES DE LAGUNAS TÍPICAS, FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.

Tipo de Laguna	Longitud (m)	Tiempo de Retención (d)	Función	Eficiencia de Remoción (%)
Anaerobica	2-5	35	Sedimentación de sólidos (SS) Remoción de DBO, estabilización del influente, remoción de helminto	SS 50-70 % DBO 40-60 % Coliformes Fecales y helminto 70%
Facultativa	1-2	4-6	Remoción de DBO	DBO 50-70 % Los SS se incrementan al morir algas y remover coliformes fecales DBO 40-60 %
Maduración (para tres lagunas)	1-2	12-18	Remoción de patógenos Remoción de nutrientes	DBO 30-60 % SS 20-40 % Nitrógeno 40-60 % Helminto 100 %

Puesto que son procesos completamente naturales, dentro de la laguna se desarrolla un complejo ecosistema biológico, depositándose como formas simples en el sistema de tratamiento de aguas residuales, como resultado se plantea un modelo de las lagunas puramente empírico.

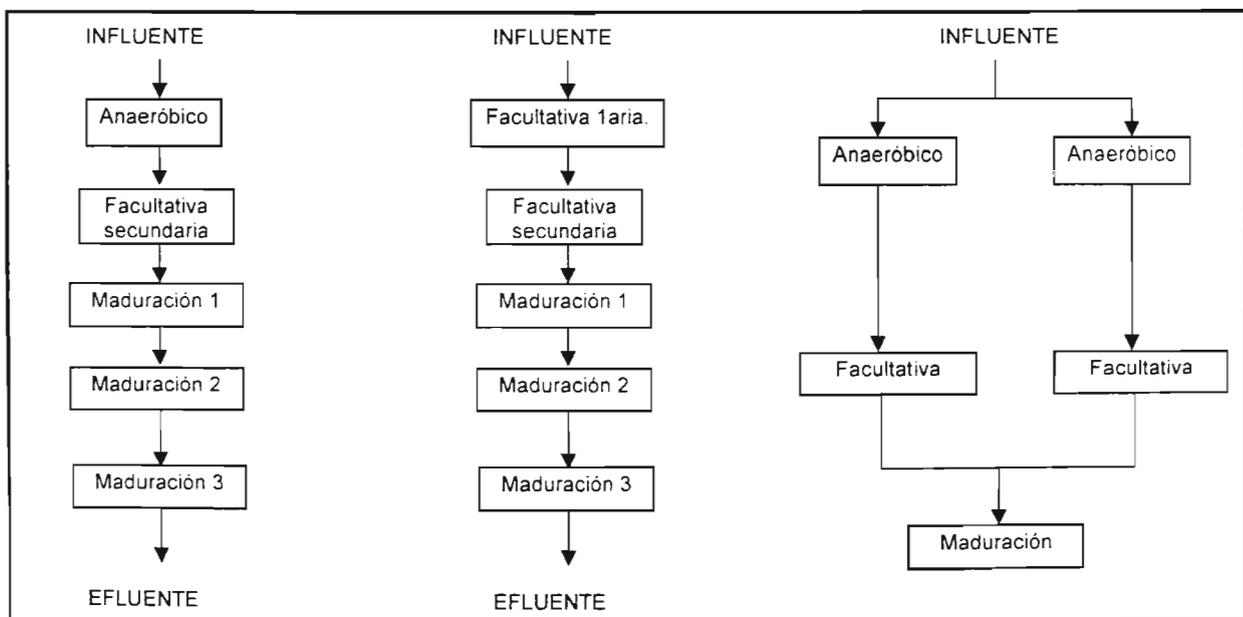


FIGURA 4-3. ESQUEMAS DE DIFERENTES EJEMPLOS DE ARREGLOS DE LAGUNAS EN SERIE.

Efluentes estándar.

En muchas áreas áridas y semiáridas del mundo, utilizan en gran escala las aguas residuales, siendo necesario debido a la escasez y al incremento de la población y demanda para la agricultura, situación que en México se está dando también. Los riesgos a la salud asociados con el hombre, después de muchos estudios a través de los años, se ha demostrado que es un parámetro importante en la salud y que ha llegado a ocasionar epidemias.

Por lo que, así como en los países desarrollados han establecido límites máximos permisibles para cada parámetro, dependiendo del uso a que se destine el agua tratada y de la calidad de la misma, lo que evitará mayor deterioro al ambiente y por consiguiente problemas de salud; en México se han implementado normas oficiales para el área ecológica y específicamente sobre la contaminación del agua y que son la NOM-001-SEMARNAT-1996 referente a los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales y la NOM-002-SEMARNAT-1997 referente a los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a la red de drenaje y alcantarillado municipal.

4.2. LAGUNAS ANAERÓBICAS.

Principios de operación. Este nombre es implícito, en una laguna anaeróbica el oxígeno disuelto es escaso e incluye una población microbiana activa. El material orgánico presente en el influente por tanto es degradado por una ruta de fermentación como se puede apreciar en el siguiente esquema, figura 4-4. La degradación del substrato orgánico con el producto ácido volátil es conocida, como putrefacción y los productos finales tales como ácidos butíricos son extremadamente olorosos. Si el metabolismo es un caso sobre este punto, entonces es un producto nocivo por lo que no es muy recomendable este tipo de sistema.

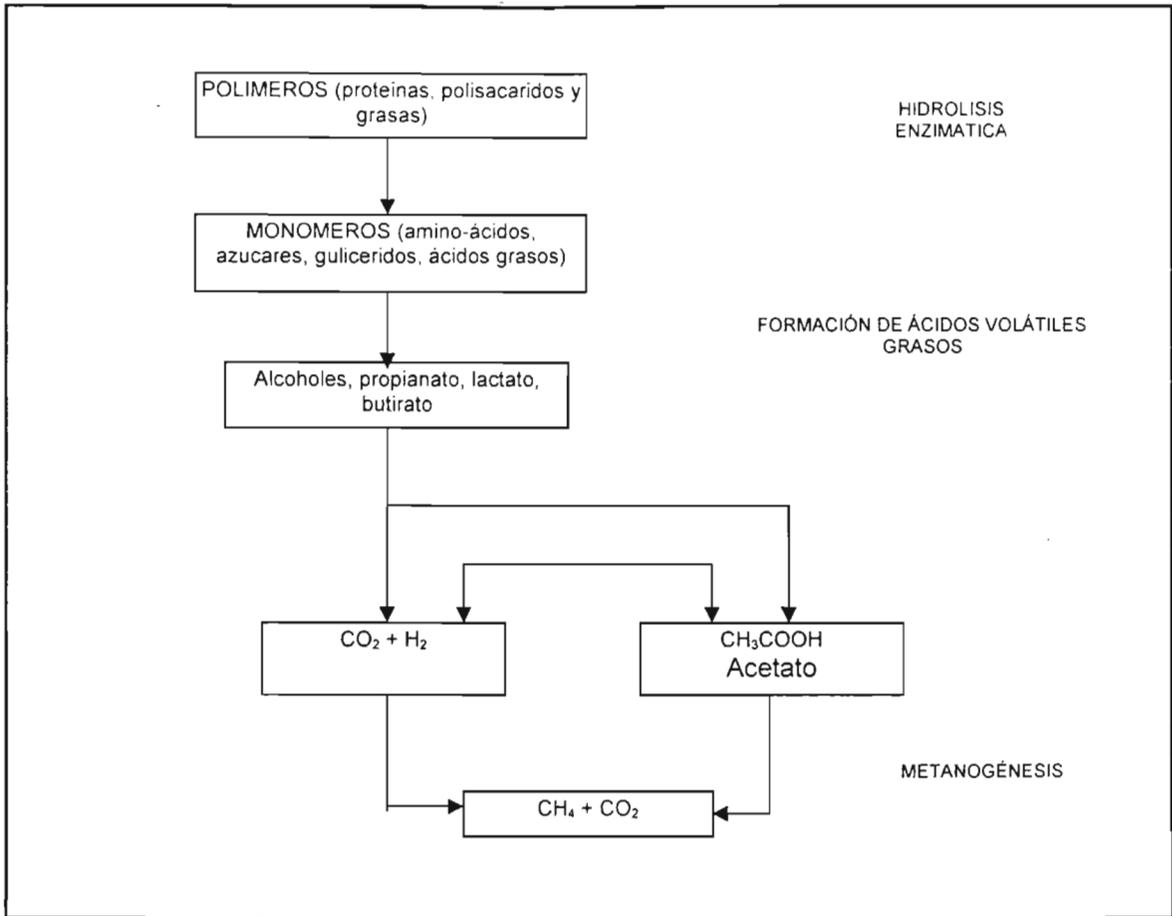
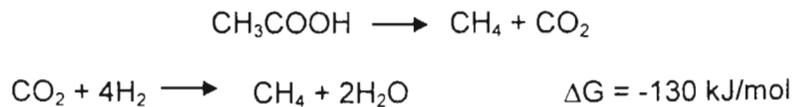


FIGURA 4-4. RUTAS DE FERMENTACIÓN PARA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A METANO EN UNA LAGUNA ANAEROBIA.

Afortunadamente este grupo es estrictamente de bacterias anaerobias, ahora como metanogénesis puede obtenerse energía para el desarrollo de oxidación de ácidos volátiles y reducción de dióxido de carbono, resultando como producto el metano, esto se muestra con las reacciones que se efectúan y que se muestran a continuación.



El resultado son productos gaseosos y olorosos, y cuando estos escapan a la atmósfera contribuyen al proceso de remoción de DBO. En común otras oxidaciones anaeróbicas, la energía disponible de la metanogénesis es baja y consecuentemente tienen baja cedencia celular, aproximadamente un 70% de DBO removido en una laguna anaeróbica será en forma de gas metano. Las lagunas anaeróbicas pueden operar por muchos años.

La metanogénesis es muy susceptible a condiciones ambientales, en particular a los cambios en el pH y será solamente tolerado en un rango de pH de 6.2 - 8.0. Si en el rango se producen ácidos grasos volátiles hay un exceso en el rango que se degrada por metanogénesis, entonces el pH decaerá, la metanogénesis se inhibirá y finalmente se extinguirá. El desarrollo de la proporción de la metanogénesis, así se ve limitada y se determina una carga orgánica máxima en una laguna anaeróbica. La metanogénesis muestra ser función de la temperatura, con una actividad pequeña bajo 10°C pero se incrementa rápidamente al incrementarse la temperatura. La temperatura por consiguiente es un factor ambiental utilizada para calcular la relación de carga orgánica.

Puesto que el tiempo de retención es muy largo (arriba de 3 días), los mecanismos adicionales provistos para sedimentación y remover la DBO que es una forma en los sólidos suspendidos, este mecanismo es independiente de la temperatura. Los sólidos suspendidos pasan rápidamente al fondo en la descomposición anaeróbica de las lagunas, como un resultado vigoroso los productos son gaseosos.

Este proceso sustituye la siembra en el estrato de la laguna. Una laguna anaeróbica puede lograr un 60% de reducción en la DBO, dependiendo de la temperatura y tiempo de retención. Como un resultado de la degradación de materia orgánica sedimentada, con una cantidad considerable de amoníaco que es la materia orgánica obtenida de rebote como amonio. La nitrificación no puede ocurrir debido a la escasez de oxígeno y se fermenta el amonio en el influente de la laguna. El efluente de una laguna anaeróbica frecuentemente contiene 20% más de amoníaco del que tiene el influente.

Es de particular importancia en una laguna anaeróbica el inconveniente de contener sulfuros. Ya que el sulfuro de hidrogeno evoluciona de tal manera que produce olores desagradables y el resultado es el sulfato. Varias de las formas del sulfuro en una laguna anaeróbica son:

Num. de oxidación:	-2	0	+4	+4	+6
Fórmula:	S^{2-}	S	SO_3^{2-}	SO_2	SO_4^{2-}
Nombre	sulfuro	Azufre	sulfito	dióxido de azufre	sulfato

La reducción de sulfato a sulfuro requiere ocho electrones y en una laguna anaeróbica es inconveniente el acetato, reacción es la siguiente:



Esta reacción se muestra que el producto final siempre será el sulfuro de hidrógeno. Siendo uno de los factores por los cuales no es recomendable.

4.3. LAGUNAS FACULTATIVAS.

La mejor laguna facultativa remueve la DBO. La presencia de un ambiente aeróbico y anaeróbico en una sola laguna, el metabolismo aeróbico se asocia con el ambiente anaeróbico y el metabolismo de oxidación se asocia totalmente con el ambiente aeróbico. La combinación de metabolismo aeróbico y anaeróbico en un solo cuerpo de agua permiten completar el ciclo de nutrientes y completar el ciclo para el carbono, nitrógeno y sulfuro siendo posible bajo condiciones apropiadas.

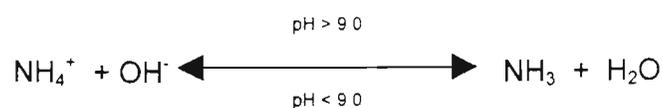
En un proceso convencional diferente, el oxígeno requerido satisficará la demanda de carbón, nitrógeno y oxígeno para cualquier proceso biológico y no para un proceso mecánico. Esto se consigue explotando la temperatura elevada y la luz solar, así como previendo condiciones bajo las cuales los organismos fotoautótrofos (principalmente algas) puedan utilizar dióxido de carbón, desarrollando un mecanismo heterótrofo. Este es un metabolismo vía Ciclo de Calvin, el cual se provee de carbón, utilizando la energía por fotosíntesis, resultando como producto oxígeno gaseoso. La relación entre algas u bacterias puede ser considerada como una simbiosis e interacciones entre sí.

El orden de estimular el crecimiento de algas, en una laguna facultativa puede ser controlada si la demanda de oxígeno del influente de aguas residuales no excede la proporción de oxígeno y puede ser suplido por la fotosíntesis. Puesto que los requerimientos de la luz para las algas, y producir oxígeno, la concentración de la laguna variara conforme el tiempo de iluminación y de la longitud de la laguna. Si la longitud de la laguna aumenta y la penetración de la luz decrece, la cantidad de oxígeno disponible será menor.

La actividad de fotosíntesis de un alga en una laguna facultativa varía con la intensidad de incidencia de la luz solar. Con el brillo de la luz solar, el alga tiene una banda de densidad mayor a 50 cm de longitud en la superficie de la laguna. La producción de oxígeno es frecuentemente muy rápida, pudiendo ser difundido en la atmósfera y supersaturando de oxígeno. El soporte de la fotosíntesis en las algas utiliza una gran cantidad de dióxido de carbono y como resultado el pH en la banda de algas puede alcanzar hasta 9.5. Bajo la superficie la concentración de oxígeno declina rápidamente al ser utilizado por bacterias heterotróficas para su respiración aeróbica.

Durante el día mejora la remoción de DBO, por las bacterias aeróbicas facultativas, como la incidencia de luz solar decrece, la actividad de la fotosíntesis también decrece hasta niveles muy bajos, casi imperceptibles. Durante las horas de oscuridad el oxígeno residual es utilizado en la laguna que funciona como una laguna anaeróbica. El metabolismo anaeróbico en la laguna de sedimentación reemplaza la sedimentación de lodos degradados y entonces se incrementa el tiempo de los lodos. Los periodos de tiempo son desde 5 a 10 años. El metabolismo anaeróbico en la sedimentación también resulta formación de gases tales como nitrógeno y sulfuro de hidrógeno que acarrea partículas a la superficie. Cuando la superficie de la laguna es aeróbica el oxígeno causa una rápida oxidación química del sulfuro de hidrógeno; sin embargo, cuando la laguna es completamente anaeróbica los lodos se ven desde la parte superior, lo que prevé la putrefacción.

Una gran cantidad de nitrógeno removido se toma en las lagunas facultativas, pero aún este mecanismo resulta sucio. Una fracción se sedimentara como nitrógeno orgánico asociado con biomasa y durante el retiro de lodos, pero es una cantidad despreciable en comparación con todo el nitrógeno por remover. La alternativa de las condiciones aeróbicas/anaeróbicas pueden sugerir nitrificación seguida de desnitrificación como un mecanismo de remoción. Más esto no puede ser sostenido; sin embargo, el número de bacterias nitrificadas insoladas de las lagunas facultativas es bajo. Un tercer mecanismo propuesto es la producción de lodos por degradación anaeróbica o materia orgánica convertida a gas amonio con un alto pH en la banda de las algas bajo la siguiente ecuación:



El amoníaco; entonces, se pierde en la atmósfera, y el proceso es de volatilización. Sin embargo, el amoníaco es más soluble como gas y no pasa fuera de la fase gaseosa, excepto cuando es desplazado por otros gases. Este mecanismo puede ser el mejor mecanismo para remover el nitrógeno, teniendo condiciones relativamente simples en una laguna.

4.4. LAGUNAS DE MADURACIÓN.

Las lagunas de maduración en el mejor de los casos remueven microorganismos patógenos, tales como los virus, bacterias y helminto; esto se logra previendo un tiempo de retención largo. El número y tamaño de la laguna de maduración dependerá de que el efluente tenga características estándar que normalmente se expresan como los coliformes fecales/100 ml. La relación de diseño de las lagunas de maduración obedecen a la información que se tenga sobre los mecanismos o mecanismos de remoción de patógenos. Esto generalmente es de acuerdo con los huevos de helminto tales como los *Ascaris*, *Trichris* y *Taenia* que se remueven por sedimentación, los cuales mueren por el tamaño (de 20 a 70 μm). Los organismos protozoarios tales como *Giardia* y *Entamoeba* tienen un comportamiento y tamaño similar, estos requieren de largos tiempos de retención para eliminarse, llegando a tener tiempos de retención de hasta 11 días o más. El efluente sale de la laguna, con una remoción de entre 20 y 40%, esto no quiere decir que sea inactiva la laguna ya que puede durar en servicio por años con lodos ya sedimentados, siendo una consideración importante para la limpieza al eliminar los lodos.

Alrededor de 100 diferentes virus se excretan por el hombre como heces fecales muy pequeñas que sobreviven en este tipo de sistemas siendo una consideración muy importante para no utilizar este tipo de tratamiento de acuerdo a la calidad requerida del efluente. Muchos de estos virus se acarrearán como cargas negativas, esto es asumido como un mecanismo mejorado para remover por adsorción en el material particulado, seguido por sedimentación. Los datos de límites disponibles sugeridos en las lagunas con grandes tiempos de retención de hasta 39 días, consiguiendo una considerable reducción de rotíferos y enterovirus. En forma similar los huevos de helminto se remueven en el efluente, quedando como remanente en los lodos por largos periodos.

La bacteria coliforme fecal es un indicador universal de los patógenos removidos, consecuentemente muchos de los trabajos aclaran que el mecanismo remueve o acarrea este tipo de bacterias. La proporción de coliformes fecales eliminados en lagunas de maduración es muy rápida, en otro tipo de lagunas de maduración es por ausencia de nutrientes, aumentando el pH. concentración alta de oxígeno disuelto, irradiación letal de UV y depredación de protozoarios. Todos los mecanismos mencionados se interconectan ayudando a la luz solar al incrementarse la radiación UV y estimulando la fotosíntesis de las algas, por lo que resultan factores muy importantes para el diseño de las lagunas.

En adición a la reducción de patógenos el efluente proveniente de la laguna de maduración es también bajo en sólidos suspendidos. El contenido de sólidos suspendidos, en el efluente de una laguna facultativa se constituye de residuos de algas. Los flagelados forman una banda densa utilizando la luz solar, en las lagunas de maduración las algas eliminan a los flagelados decreciendo la penetración de la luz solar. Las algas son inmóviles y se distribuyen en la laguna disminuyendo también el efluente de dicha laguna, por lo que resulta poco práctico el funcionamiento ya que en cierto momento no se estaría cumpliendo la calidad requerida en el efluente.

4.5. BIODISCOS (ROTATING BIOLOGICAL CONTACTORS, RBC).

Durante 1960, el medio filtrante de los plásticos encabezó el interés en el desarrollo y comercialización de los RBC o biodiscos como se conocen comúnmente (RBC), que proveen de muchas ventajas sobre los medios filtrantes rocosos o de piedra en los filtros empacados (TF), fuera de lagunas otras desventajas. A causa de los nuevos medios desarrollados y los bajos requerimientos de energía de unidades de tratamiento de RBC comparados con unidades de lodos activados, los ingenieros frecuentemente seleccionaban RBC para tratar aguas residuales municipales durante 1970 y aún después.

El funcionamiento de estos procesos bajo diseños son esperanzadores, más tienen problemas en lo que se refiere a las estructuras, principalmente con el eje y el medio filtrante que con excesiva cantidad de biomasa sobre el medio (disco), entre otros problemas, estos son serios y que conciernen a muchas instalaciones en los que actualmente operan. Si bien, los procesos pueden aplicarse en algunas situaciones hay que estudiar la situación donde se desea sean aplicados, aunque también se ha encontrado que su funcionamiento y sobre todo la calidad del agua tratada resulta muy aceptable (70 a 90 % de eficiencia).

Como un estimado más de 600 plantas RBC son utilizadas para tratar aguas residuales industriales y domésticas en Estados Unidos. Los primeros sistemas de RBC comerciales fueron instalados en Alemania Occidental en 1960.

Los RBC constan de discos circulares de tipo plástico montados en un eje horizontal. Los ejes rotan (de 1 a 2 r.p.m.) mecánicamente o por inyección de aire comprimido. Aproximadamente el 40 % del rodillo es sumergido en las aguas residuales. Los flujos de aguas residuales, son tratados por contacto y por simple desplazamiento y por gravedad. La rotación de los discos alternados crea una película de material orgánico, con un grosor de 1 a 3 mm de espesor, debido a las aguas residuales en combinación con el aire atmosférico. Las bacterias y otros microorganismos naturalmente presentes en las aguas residuales se adhieren y engrosan la superficie rotatoria del medio. La película orgánica se empieza a formar entre la primera y segunda semana de funcionamiento, las bacterias formaran una película biológica fija, cubriendo completamente la superficie del disco.

Este sistema se desarrollo con la finalidad de obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En este caso la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de las unidades de lodos activos). A continuación se presenta un esquema de una unidad típica de tres etapas (con tres biodiscos). Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente son fabricados de poliestireno o polietileno con diámetros entre un rango de 3 a 4 metros. Los discos se mantienen paralelos entre sí y montados a un eje horizontal que pasa por el centro de los discos; los ejes tienen una longitud promedio de 7.5 metros.

Las unidades se disponen en tanques divididos por paredes tal como se presenta en la figura 4-5. La alimentación de agua residual pasa a través de estos tanques en serie de forma tal que los ejes se mantienen ligeramente por encima de la superficie del líquido.

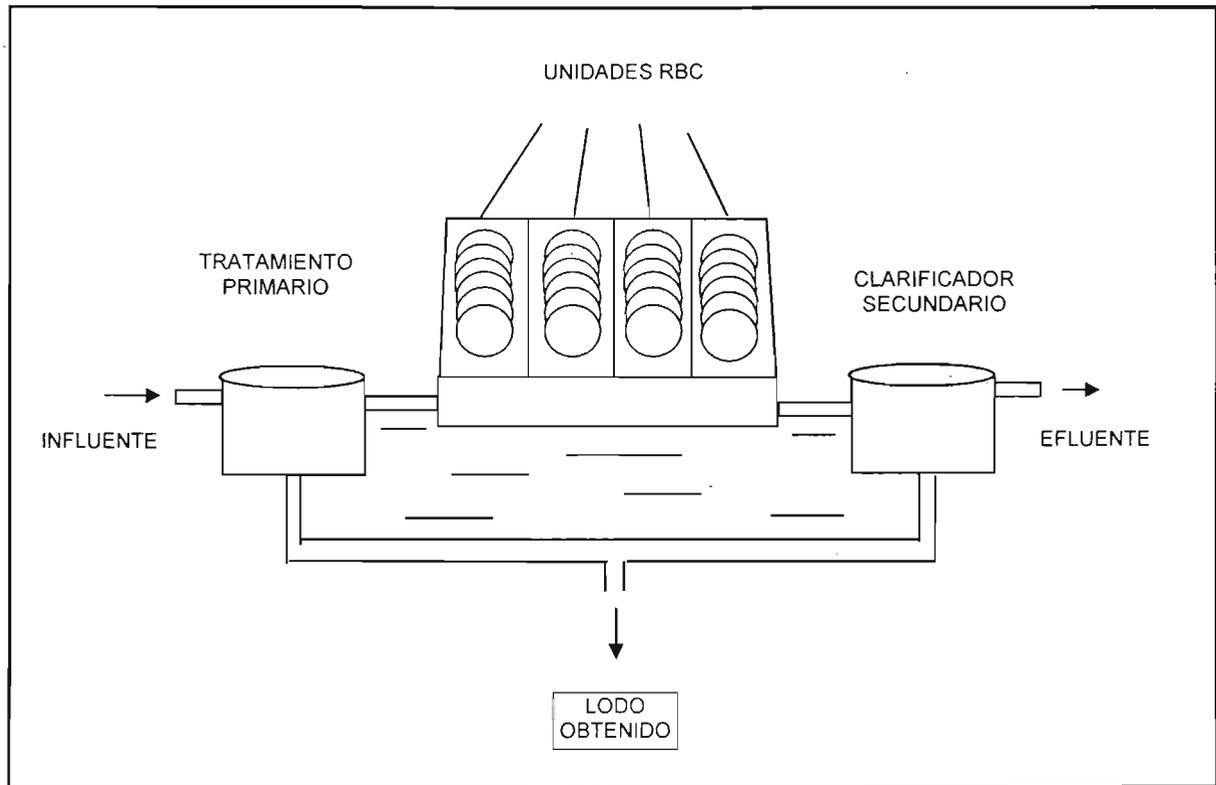


FIGURA 4-5. ESQUEMA TÍPICO DE UNA PLANTA DE BIODISCOS (RBC) EN APLICACIONES PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Durante el funcionamiento parte del limo se separa de los discos, además del que se pierde por arrastre de materia sin vida. Debido a la rotación de los discos se provoca cierta turbulencia en el depósito de líquido por lo que en todo momento existirá una concentración limitada de biomasa en suspensión y por tanto habrá una disminución de la DBO en los RBC.

Es importante señalar que en sistemas de este tipo los tiempos de residencia son pequeños, normalmente menores a una hora, lo que trae consigo una concentración de biomasa en suspensión relativamente pequeña, ya que la mayoría de la DBO separada en los RBC se debe al limo formado en cada uno de los discos.

El efluente, en la última etapa de los RBC fluye a un clarificador secundario tal como se muestra en la figura 4-5. Generalmente este tipo de sistemas se proyecta para un valor total de DBO del efluente de la última etapa en el orden de 10 a 25 mg/l, del cual una tercera parte es soluble y aproximadamente las dos terceras partes restantes resultan insolubles.

En cuanto al diseño de los discos estos están formados de placas alternadas con formas planas y corrugadas ya sea de polietileno o poliestireno, como se ha mencionado anteriormente. Con la forma de disposición de cada una de las placas se proporciona una área superficial mayor que para el caso de discos con superficies planas únicamente. Por lo que considerando un disco con un diámetro de 3.6 m y sobre un eje de 7.5 m se puede tener una superficie total mínima de 9,000 m², esto representa una ventaja ya que en una área promedio de 30 m² de terreno se puede tener un área de tratamiento como la mencionada, además que es la razón por la cual los tiempos de residencia son muy cortos comparados con el sistema de tratamiento por lodos activos o de lagunas de estabilización. Siendo importante señalar que las medidas antes mencionadas anteriormente son las que se recomiendan para un funcionamiento óptimo del sistema, además que se consideran tamaños estándar de los fabricantes.

A continuación se enuncian algunas de las ventajas de los sistemas RBC, con respecto a procesos de lodos activos convencionales:

- Bajo consumo de energía.
- Mantenimiento más sencillo en cuanto a los discos por técnicos especialistas.
- Existencia de cultivo biológico diferente y por tanto hay más flexibilidad en el proceso. Y por tanto puede conseguirse nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas o en la última etapa.
- La biomasa presenta características apropiadas de sedimentación con lo que se disminuye el costo del clarificador secundario.
- No se requiere reciclado de lodos.

Como en todo se tiene ventajas y desventajas y en este caso no es la excepción, esta desventaja consiste en lo siguiente:

- La presencia de una pequeña película líquida de gran superficie sobre la zona húmeda de los discos expuesta al aire ambiente
- Tiene el peligro de congelación cuando la operación se lleva a cabo en climas fríos, que en gran parte de México no ocurre.

Previendo este tipo de inconvenientes la unidad de tratamiento deberá de alojarse en un edificio cerrado y esto incrementaría el costo más. Sin embargo, como sabemos en nuestro país generalmente el clima es templado, no así en la zona norte del país y lo que se persigue es que el tratamiento seleccionado sea muy dinámico, es decir que se pueda utilizar en el mayor número de zonas climáticas.

Carga hidráulica y orgánica. El incremento en el flujo incrementa la carga hidráulica y decrece el tiempo de retención o tiempo de reacción necesario en cualquier reactor biológico. El impacto de las variaciones de carga hidráulica y orgánica impacta en el funcionamiento de un sistema RBC. Cuando el promedio pico diario de flujo es de 2.5 o más, las consideraciones para flujo son similares.

Un factor límite en el diseño de sistemas RBC es la carga orgánica en la primera etapa, con una carga excesiva del tipo orgánica, la película biológica se incrementa y el oxígeno se convierte en límite.

Stover y Kincannon observan que la concentración de sustrato y la carga hidráulica se relacionan directamente con la remoción de sustrato y la eficiencia. Estas indicaciones de remoción de sustrato en el influente dependen de la combinación de estas variantes, llamadas carga total orgánica del sistema. Otro investigador, Wilson, también señala la importancia de la carga orgánica a total como un parámetro de diseño de sistemas e indica que es $\text{lb DBO/d/1,000.0 ft}^2$.

Como una ventaja, el concepto carga orgánica total del diseño permite la predicción de la relación de remoción de orgánicos y eficiencia del tratamiento.

Características del agua residual influente. Las características del agua residual y el impacto en la biodegradabilidad son consideraciones importantes en el diseño de sistemas RBC. Un efluente con altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) disminuye el funcionamiento del sistema RBC, porque acelera el crecimiento de organismos de cataplasma. Esto se puede evitar con un equipo apropiado de preaeración o aireación suplementaria, con lo que el sistema se puede considerar como una buena opción, aunque esto también implica incremento en el costo de este tipo de tratamiento.

Temperatura del agua residual. Los estudios realizados indican que la eficiencia de remoción de la carga orgánica no se ve afectada por temperaturas arriba de $13\text{ }^{\circ}C$, y si se ve afectado el funcionamiento a bajas temperaturas. El equipo se diseña y construye con un factor de corrección de temperatura abajo de $13\text{ }^{\circ}C$. Puesto que la relación de remoción de carga en un sistema RBC depende del sustrato (masa) y transferencia (difusión) de oxígeno en adición a una cinética biológica, el uso de factor de corrección de temperatura solamente se basa en la consideración de la cinética biológica. Esto es aceptado decreciendo la temperatura adversamente en los efectos de nitrificación.

En algunos casos el incremento de las temperaturas incrementa la eficiencia de remoción de orgánicos en sistemas con altas cargas. A bajas temperaturas, incrementa la saturación de OD.

Control de la película biológica. La película biológica "empacada" en el entorno del disco, es de gran importancia en los procesos de RBC, esta película se considera como película empacada activa. Estudios realizados han revelado que el espesor de la película biológica se encuentra en un rango de 0.07 a 4.0 mm, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas.

Una operación suficientemente flexible, provee de control a la película biológica empacada. Puesto que muchos materiales carbonosos son removidos en las etapas iniciales, en la primera y segunda etapa puede desarrollarse la película biológica empacada, de acuerdo a la experiencia. La película biológica empacada se puede controlar mediante el incremento de la velocidad de rotación del disco, por consiguiente la transferencia de oxígeno y la fuerza de adhesión de la película biológica, también revirtiendo periódicamente la dirección de rotación de la unidad RBC y en general cambiando la configuración del sistema permitiendo una distribución de flujo y carga diferente.

Niveles de oxígeno disuelto. Es importante la cantidad de oxígeno disuelto en el tratamiento aeróbico de aguas residuales. En procesos RBC el nivel de oxígeno disponibles es una variable operacional que afecta el funcionamiento de proceso a un nivel mínimo de oxígeno disuelto de 2 mg/l, que es la cantidad requerida para el buen funcionamiento.

Los reportes emitidos sobre los RBC facilitan el diseño de remoción de DBO carbonoso y nitrificación fijan los límites del efluente para el verano e invierno. Los límites del efluente no se cumplen en el verano, lo que se atribuye por experiencia a niveles bajos de OD (bajos como de 1 mg/l). Sin embargo, el nivel de oxígeno disuelto se incrementa durante la operación en invierno, contribuyendo a una remoción suficiente de DBO carbonoso, logrando la expectativa de diseño.

La relación de nitrificación, también mejora durante el invierno pero no lo suficiente, lográndose solo el límite establecido en el efluente. El incremento en la remoción de carbono y nitrificación durante la operación de verano se atribuye al incremento o saturación de oxígeno disuelto con el decremento de la temperatura.

Ahora bien, aplicando lo anterior y el procedimiento de solución propuesto por Eckenfelder³, el cual se basa en gráficas obtenidas experimentalmente. No obstante, se debe recordar que los diseños para este tipo de tratamientos (RBC) se basan en la experiencia, así como en relaciones empíricas se procederá a plantear el problema objetivo del presente trabajo.

DATOS:

$$S_e = 30.00 \text{ mg/l de DBO soluble}$$

$$S_f = 300.00 \text{ mg/l}$$

$$Q = 25,920.00 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$6.84 \text{ Millones gal/día}$$

Como la carga máxima en un RBC ocurre en el punto donde el oxígeno se convierte en límite. Entonces la máxima carga hidráulica puede calcularse con las siguientes fórmulas haciendo uso de la siguiente figura:

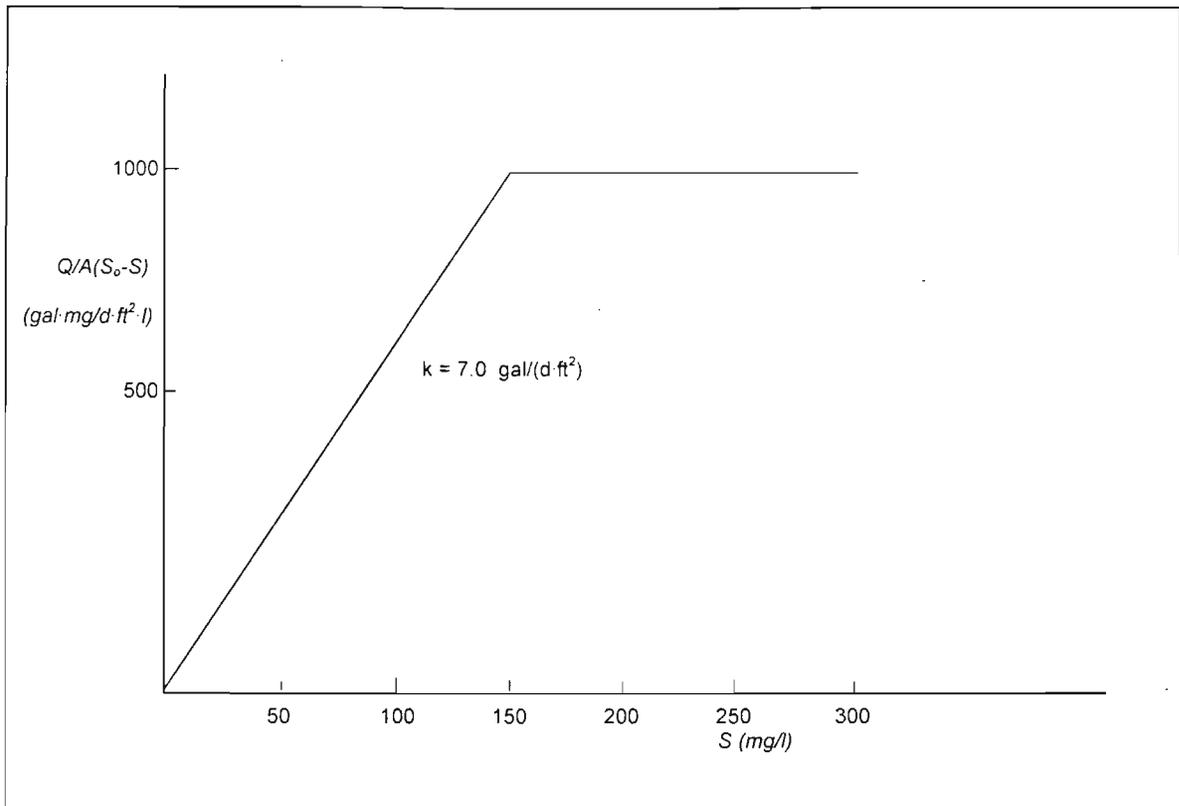


FIGURA 4-6. RELACIÓN DE DBO REMOVIDO.

$$(Q/A) = ((Q/A)S_r)_{MAX} / S_0 - ((A/Q) S_r)_{MAX} / k \quad (1)$$

Para el funcionamiento de contactores múltiples (etapas múltiples) en serie puede definirse por la siguiente relación

$$(S_e/S_0) = (1 / (1 + (k \cdot A/Q)))^n \quad (2)$$

ó

$$Q/A = k / (S_0 / S_e)^{1/n} - 1 \quad (3)$$

Aplicando la ecuación (3), bajo el siguiente ensayo, utilizando la figura 4-7 se tiene un ensayo para obtener el número aproximado de etapas o discos.

$$(Q/A)S_r)_{MAX} = 1,000.0 \text{ (gal/d·ft}^2) / \text{(mg/l)}$$

sustituyendo en la ecuación (1)

$$Q/A = 1,000.0 / (300 - (1,000.0/7)) = 6.36 \text{ gal/d}\cdot\text{ft}^2 = 0.26 \text{ m}^3 / \text{d}\cdot\text{m}^2$$

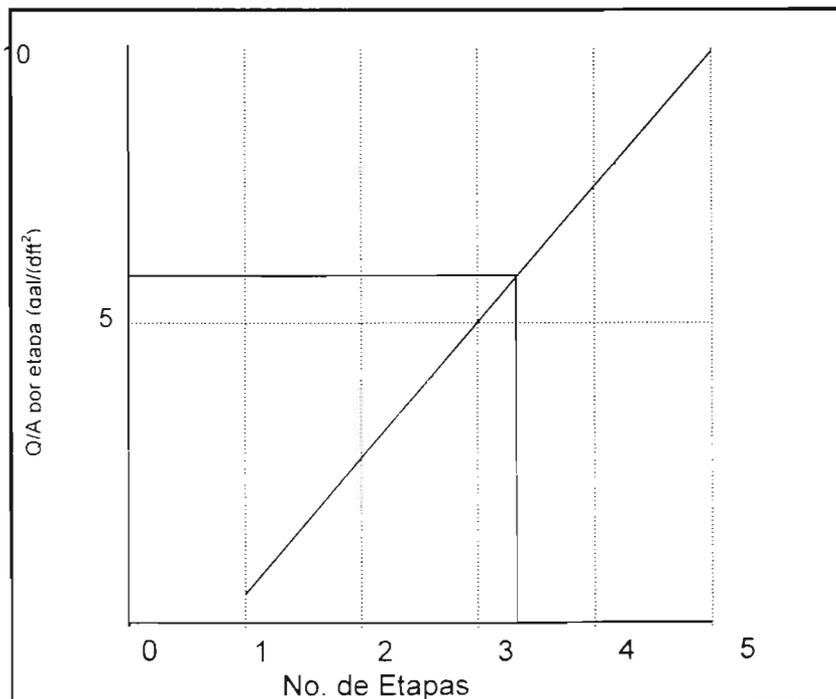
Utilizando la figura 4-7 se obtienen 3.5 etapas, considerando el siguiente número entero, 4 etapas y sustituyendo en la ecuación 3 se obtiene

$$Q/A = 7 / ((300/30)^{1/4} - 1) = 8.99 \text{ gal/d}\cdot\text{ft}^2 = 0.37 \text{ m}^3 / \text{d}\cdot\text{m}^2$$

Lo que significa que 0.37 m^3 serán tratados durante un día por cada m^2 , por tanto el área total necesaria

$$\text{Luego } A = (29,670.0 \text{ m}^3/\text{d}) / (0.37 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{m}^2) = 80,485.0 \text{ m}^2$$

FIGURA 4-7. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ETAPAS.



Como resultado del área requerida para tratar un volumen de 25,920 m³/día es el doble de lo que los biodiscos en serie pueden aportar, es evidente que se necesitarán dos unidades con cuatro discos, esto se detalla a continuación considerando información obtenida a través de la experiencia de trabajar con este tipo de sistemas.

Considerando que un disco tiene 3.6 m de diámetro y montado en un eje de 7.5 m, medidas típicas recomendadas, se obtiene un área superficial promedio de 10,000.0 m² y un tiempo de residencia máximo de 1 hora, tiene como consecuencia una concentración de biomasa en suspensión baja y una reducción de la DBO debido a la presencia del crecimiento adherido al disco.

Si se utiliza una serie de 4 discos se tendrá una área superficial resultante de 40,000.0 m², área que no alcanza a cubrir las necesidades del área requerida de 80,845.0 m². Por supuesto esto es para requerimientos hasta el año 2,009 y con una capacidad de diseño (que es la máxima), de acuerdo al objetivo del presente trabajo. Pudiéndose instalar una primera unidad con cuatro discos en serie. Se ha de recordar que este es un sistema de flujo continuo, por lo que sí en la siguiente etapa de evaluación económica se selecciona como el mejor se deberá implementar una primera unidad con la cual se tendría una unidad con cuatro etapas y una superficie de 40,000.0 m², una unidad posterior aportaría otro tanto con lo que se cubriría el total máximo caudal proyectado a tratar. En la siguiente tabla se indica que área de terreno ocuparía cada disco y el área total por una unidad RBC con cuatro discos.

TABLA 4-2. ÁREAS OCUPADAS POR BIODISCO EN CADA ETAPA.

Etapa N°	Área Promedio Ocupada Por Biodisco (m ²)
1	30
2	30
3	30
4	30
<i>UNIDAD N° 1</i>	120

4.6. LODOS ACTIVADOS.

4.6.1. PRINCIPIOS DE OXIDACIÓN BIOLÓGICA.

Los compuestos orgánicos pueden removerse por tratamiento biológico (biodegradación) o por otros mecanismos, como son desorción o biodegradación. En la siguiente tabla (4-3) se indican diferentes compuestos orgánicos y mecanismos para su remoción.

TABLA 4-3. COMPARACIÓN DE MECANISMOS DE REMOCIÓN PARA CONTAMINANTES PRIORITARIOS EN LODOS ACTIVADOS.

Biodegradación	Biodegradación y evaporación	Evaporación	Refracción
Nitrobenceno	Acetato de Etilo	1,2-Dicloroetano	Bis (2-Etilexil) Ftalato
2-4 Diclorobenceno	Benceno	1,1,1-Tricloroetano	--
2-4 Dinitrobenceno	1,2- Diclorobenceno	1,1,2,2-Tetracloroetano	--
Acrolein	Cloruro de Metileno	1,2- Dicloropropano	--
Acrilonitrilo	Tolueno	Tricloroetileno	--
Pentaclorofenol	Etilbenceno	--	--
Fenol	Cloroformo	--	--
Fenantreno	Tetracloruro de Carbón	--	--
Naftaleno	--	--	--
Bencidina	--	--	--

Como se puede observar la mayor parte de contaminantes orgánicos se biodegrada con el tratamiento de lodos activados, y ninguno de los compuestos que se elimina en cada proceso es el mismo, siendo ésta una desventaja.

Para poder seleccionar un sistema de tratamiento de aguas residuales se deben establecer los fundamentos generales que rigen los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios.

Los fundamentos para el diseño de plantas de tratamiento se considerarán en base al diseño que sigue el proceso de lodos activados. Los modelos matemáticos que a continuación se desarrollaran podrán ser utilizados en procesos aerobios como: lagunas aireadas y biodiscos (RBC), los cuales son de interés para el presente trabajo.

En la medida en la que se domine la comprensión, teoría y práctica en el diseño de plantas de tratamiento, se lograrán mejores resultados, debido a la adaptación específica a las condiciones precisas de las descargas en contraparte a las "plantas paquete" que se encuentran diseñadas para unas condiciones hipotéticas.

4.6.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.

Para el desarrollo y obtención de las ecuaciones que rigen un sistema de tratamiento biológico se toman en cuenta diversas consideraciones como es información de diseño a partir de reactores a escala laboratorio. Por lo que para empezar a familiarizarse con el flujo de un proceso biológico y las variables que intervienen en la figura 4-8, se muestra un esquema de un proceso biológico convencional con reciclado de lodo y en la tabla 4-4 se indican todas las variables, así como la definición de cada una de ellas y que intervienen en el proceso. En la siguiente figura se definen como 7 corrientes principales, que son: 1) alimentación fresca, 2) alimentación combinada, 3) efluente del reactor, 4) efluente final, 5) descarga del clarificador secundario, 6) purga de lodos y 7) lodo reciclado.

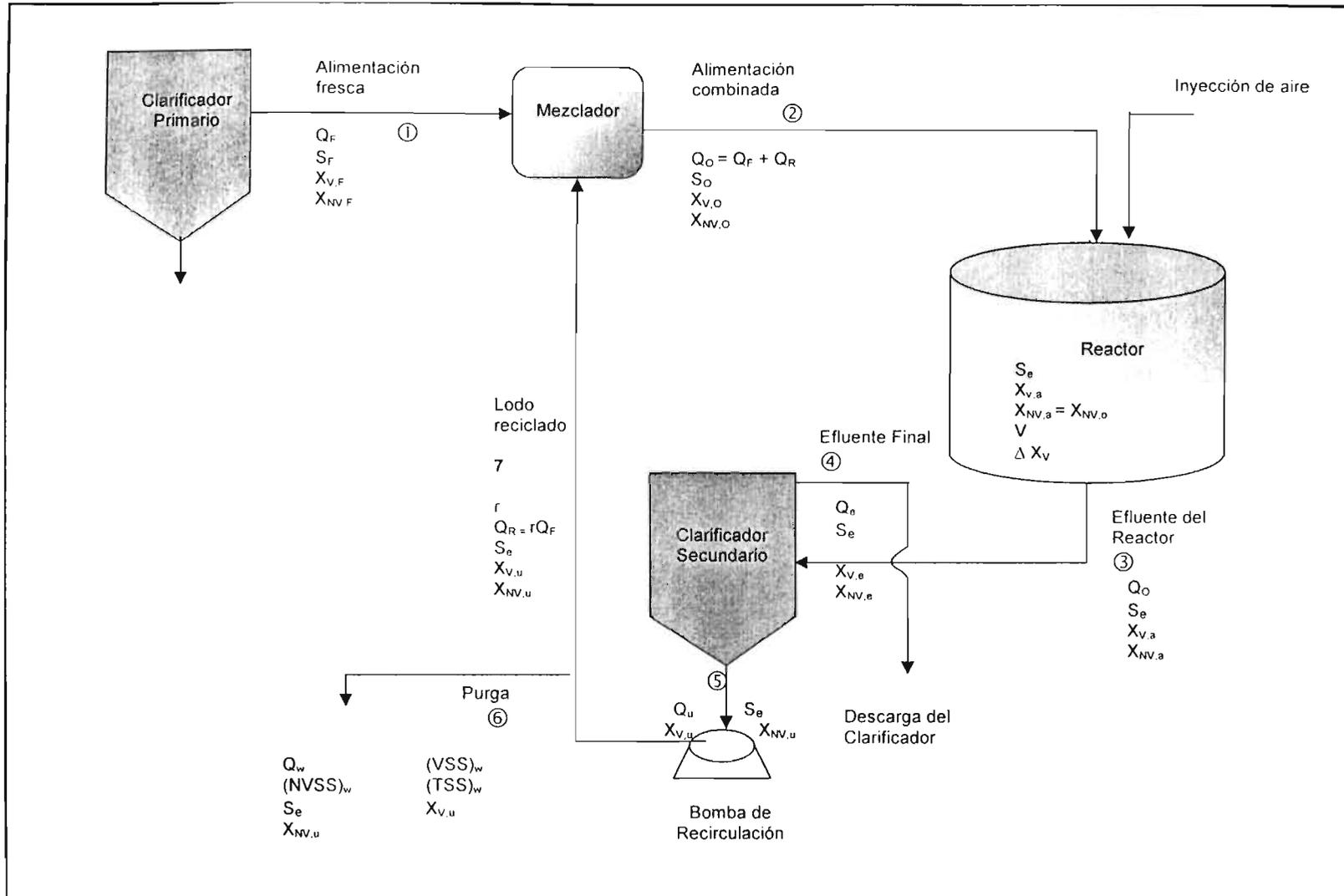


FIGURA 4-8. PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVOS⁴.

1. *Concentración de la DBO soluble, simbolizado por S y el número de corriente se indicará en lo sucesivo con un subíndice "i".* La DBO soluble se conforma principalmente de compuestos carbonosos en disolución. En el diseño de las plantas de lodos activados se basa en el consumo de la DBO soluble, este consumo es el resultado del proceso de oxidación biológica. En lo que se refiere a la DBO insoluble se separa mediante sedimentación primaria y secundaria.

2. *Concentración de sólidos volátiles en suspensión (VSS), simbolizado por $X_{V,i}$.* Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos. Los VSS se constituyen por materia inerte, orgánica e inorgánica.

3. *Concentraciones de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).* Los sólidos remanentes después de la incineración a 600° C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles.

Por tanto:

$$SST = VSS + NVSS$$

Sólidos en suspensión totales = sólidos volátiles en suspensión + sólidos no volátiles en suspensión

TABLA 4-4. DEFINICIÓN DE VARIABLES⁴.

Clave	<p>Para los sólidos en suspensión se emplean dos subíndices, por ejemplo, $X_{V,i}$, $X_{NV,i}$.</p> <p>El primer subíndice (V o NV) designa el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente.</p> <p>El segundo subíndice (i) se refiere a la corriente específica de que se trate:</p> <p>F: alimentación inicial [corriente 1] o: alimentación combinada [corriente 2] a: efluente del reactor [corriente 3] e: efluente final [corriente 4] u: descarga del clarificador secundario [corriente 5]</p>
Símbolos	<p>1. Flujos</p> <p>Q_F, alimentación inicial; m³/s (metros cúbicos por segundo) [corriente 1] Q_R, reciclado, m³/s, [corriente 7] r: relación de reciclado, sin dimensiones ($r = Q_R/Q_F$) Q_o, alimentación combinada, m³/s; $Q_o = Q_F + Q_R = Q_1 (1+r)$ [corriente 2] (m³/s de la alimentación combinada = m³/s del efluente del reactor, esto es, Q_o [corriente 2] = Q_o [corriente 3] Q_e, efluente final; m³/s [corriente 4] Q_w, purga; m³/s [corriente 6] (Nótese que $Q_F = Q_e + Q_w$) Q_u, descarga del clarificador, m³/s; $Q_u = Q_w + Q_R = Q_w + rQ_F$ [corriente 5]</p> <p>2. Concentraciones (mg/l) de la DBO soluble</p> <p>S_F, DBO soluble de la alimentación inicial S_o, DBO soluble de la alimentación combinada S_e, DBO soluble del efluente</p> <p>3. Concentraciones (mg/l) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS)</p> <p>$X_{V,F}$, VSS en alimentación inicial $X_{V,o}$, VSS en la alimentación combinada $X_{V,a}$, VSS en el reactor, Esta concentración es asimismo igual a la de VSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio) $X_{V,u}$, VSS en la descarga del clarificador secundario $X_{V,e}$, VSS en el efluente final</p>

	<p>4. Concentraciones (mg/l) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS)</p> <p>$X_{N.V.F.}$ NVSS en la alimentación inicial</p> <p>$X_{N.V.O.}$ NVSS en la alimentación combinada</p> <p>$X_{N.V.R.}$ NVSS en el reactor ($X_{N.V.R.} = X_{N.V.O.}$). Esta concentración es asimismo igual a la de NVSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio)</p> <p>$X_{N.V.U.}$ NVSS en la descarga del clarificador secundario</p> <p>$X_{N.V.E.}$ NVSS en el efluente final</p>
	<p>5. Purga</p> <p>$(VSS)_w$, Kg/ día de VSS en la purga</p> <p>$(NVSS)_w$, Kg/día de NVSS en la purga</p> <p>$(SST)_w$, Kg/día de SST en la purga</p>
	<p>6. Volumen del reactor</p> <p>V, volumen del reactor, m^3</p>
	<p>7. Producción de lodos</p> <p>ΔX_v, Kg/día</p>

Las concentraciones *DBO*, *VSS* y *NVSS*, son los principales a considerar en el diagrama de la figura 4-8, como se indica a continuación, así como los aspectos más relevantes:

DBO soluble. El objetivo del tratamiento es reducir el valor S_F a S_e , mediante oxidación por degradación biológica aerobia de la materia orgánica del agua residual.

En el proceso convencional de lodos activos se logra normalmente una reducción de la *DBO* de 5 a 15 % de su valor en la alimentación inicial, lo que significa un rendimiento del 85 al 95 % en el consumo de *DBO* soluble.

Sólidos volátiles en suspensión (*VSS*). La concentración del lodo biológico en el reactor se mantiene constante en todo momento ($X_{v,a}$), normalmente en 2000 y 3000 mg/l. En el reactor se consideran condiciones de mezcla completa, por lo que se tiene:

$$MLSS = MLVSS + MLNVSS$$

$$\begin{array}{l} \text{Sólidos en suspensión del} \\ \text{licor mezclado} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Sólidos en suspensión} \\ \text{volátiles del licor mezclado} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Sólidos en suspensión no} \\ \text{volátiles del licor mezclado} \end{array}$$

4.6.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES CON RESPECTO A LA FIGURA 4-9.

Primero se obtiene el balance global de agua residual, que es

$$Q_F = Q_e + Q_w \quad (1)$$

Donde Q es el caudal y se expresa en m^3/s .

Por definición la relación de reciclado r es:

$$r = Q_R/Q_F = \text{agua residual reciclada/agua residual inicial} \quad (2)$$

y

$$Q_R = rQ_F \quad (3)$$

Si Q_O es la alimentación combinada, entonces:

$$Q_O = Q_F + Q_R = Q_F(1 + r) \quad (4)$$

Por lo que la densidad de las corrientes líquidas se suponen igual a la del agua a temperatura ambiente, esta suposición no implica desviaciones considerables, ya que las soluciones empleadas en los trabajos experimentales por Eckenfelder³ son relativamente diluidas.

El objetivo de un proceso biológico es remover los orgánicos solubles e insolubles de una corriente de aguas residuales y convertir ese material en una suspensión floculenta microbiana lo que permitirá una separación mediante técnicas de separación del sólido-líquido.

Mediante este tratamiento las aguas residuales son estabilizadas biológicamente en un tanque, donde se puede utilizar la inyección mecánica o por difusión de oxígeno con la inclusión de nutrientes que en caso de no traerlos, el agua se deberán de añadir para mantener la masa bacteriana (lodo), que estabiliza la materia orgánica, esto en condiciones aerobias. La aireación se logra a través de un sistema de difusión mecánico. El líquido contenido en el tanque se le denomina líquido mezcla o licor mezclado. En forma general un sistema biológico opera de la siguiente forma:

Una vez que el agua residual ha sido tratada en el tanque, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de la masa sedimentada se elimina o purga pues de no ser así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más. El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia deseada del tratamiento y de otras consideraciones referentes a la cinética del tratamiento.

Para efectuar un estudio del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un proceso biológico es necesario representarlo mediante modelos matemáticos y determinar así los parámetros a utilizarse a través de una serie de datos experimentales. Durante el desarrollo del estudio de este sistema de tratamiento se tocarán las siguientes relaciones: a) relaciones cinéticas, b) balances de materia para determinar el consumo de oxígeno y la producción neta de sólidos no volátiles en suspensión en el licor mezclado (*MLVSS*) y c) ecuaciones para calcular las condiciones óptimas de sedimentación del lodo.

³ Industrial Water Pollution Control, W.Wesley Eckenfelder, Jr., 2ª Edition, McGraw-Hill Book Company.

4.6.4. RELACIONES CINÉTICAS.

El estudio de la cinética del tratamiento biológico aerobio conduce a determinar la velocidad a la cual los microorganismos degradan un residuo específico y por lo tanto suministran la información básica necesaria para desarrollar el tamaño de los reactores biológicos aerobios por lo que es necesario y conveniente disponer de un reactor de laboratorio discontinuo, para este caso se utilizaran datos que se han obtenido previamente por Eckenfelder y colaboradores³.

Por lo que se describen a continuación el funcionamiento del reactor biológico y la forma de determinar los parámetros requeridos en este sistema de tratamiento.

Considerando el esquema de la figura 4-9 se pueden observar cuatro unidades operando en paralelo, cada una de ellas con una capacidad de aproximadamente 2 litros. El agua residual se introduce al reactor teniendo previamente una siembra de microorganismos, después se hace circular aire comprimido dentro del sistema. El lodo biológico (*MLVSS*) se mantiene en un estado de mezcla completa debido a la agitación proporcionada por el aire soplado en el sistema.

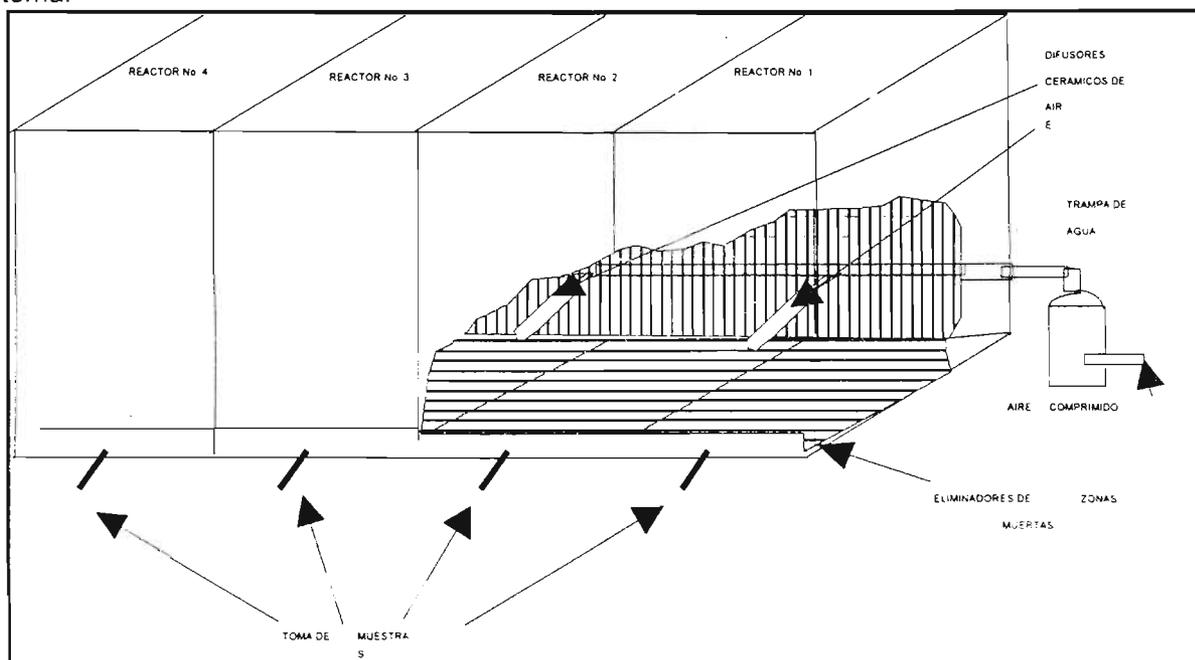


FIGURA 4-9. REACTOR TIPO DISCONTINUO.

Posteriormente se determina la concentración del sustrato (S) en el agua residual, esta se puede medir como *DBO soluble*, *DQO*, *DTO*, *COT*, etc. en intervalos de tiempo establecidos a partir de la toma de muestras, en la figura 4-10 se presenta una curva típica de la disminución de la concentración de sustrato soluble S y la variación de la cantidad de *MLVSS* con el tiempo.

La concentración del sustrato soluble S es una medida de la concentración de materia orgánica y que decrece con el tiempo conforme dicha materia orgánica se oxida, hasta alcanzar un punto donde la materia es no biodegradable. En el caso de utilizar la *DBO* como parámetro para medir la concentración de sustrato, $S_n = 0$, ya que a tiempo infinito todo el sustrato biodegradable se oxida.

El comportamiento de la gráfica de la figura 4-11 se describe a continuación: la concentración de *MLVSS* aumenta al principio durante un periodo en el que una concentración sustancial del sustrato se encuentra presente para proporcionar alimentación abundante para mantener el crecimiento de microorganismos. Este crecimiento corresponde a síntesis de nuevas células de microorganismos, indicado en la fase de síntesis. Después de un tiempo t_C , cuando la concentración de sustrato ha disminuido considerablemente, no hay suficiente alimento para mantener el crecimiento de microorganismos; en este momento los microorganismos empiezan a consumir sus microorganismos compañeros como alimento. Conforme avanza este "festín caníbal" la concentración de *MLVSS* desciende ya que la velocidad de destrucción de células de microorganismos excede la de síntesis de nuevas células, esta parte corresponde a la fase de respiración endógena. El máximo de la curva de *MLVSS* corresponde al tiempo t_C , cuando estas dos velocidades son exactamente iguales. La distancia $(\Delta X_{v,a})_{C-D}$ corresponde a la reducción neta de concentración de *MLVSS* desde t_C a t_D .

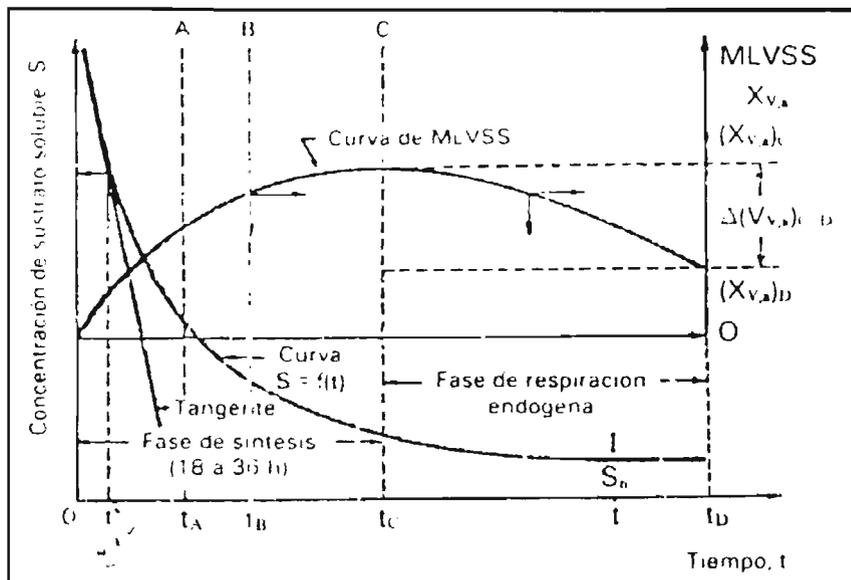


FIGURA 4-10. CURVAS TÍPICAS DE LA CONCENTRACIÓN DE SUSTRATO SOLUBLE Y DE LOS MLVSS EN UN REACTOR DISCONTINUO⁴.

Se conocen dos tipos de operación en el proceso de lodos activados: la continua y la discontinua, las cuales son: 1) en contra de lo que sucede en el reactor discontinuo, la *DBO* del agua residual en el reactor continuo opera en régimen estacionario permaneciendo constante (S_e), lo que corresponde generalmente a una concentración baja de sustrato al consumirse la mayor parte de la *DBO* influente. Contrariamente a lo que sucede en el reactor discontinuo, la concentración de *MLVSS* en el reactor continuo, operando en condiciones estacionarias, se mantiene constante ($X_{V,a}$) a un valor seleccionado. El mantenimiento de esta $X_{V,a}$ constante se obtiene proporcionando la cantidad calculada del lodo de retorno concentrado. El balance de materia de los *MLVSS*, necesario para alcanzar la relación de reciclado requerida para este objetivo se presentará posteriormente.

Las líneas verticales A, B y C de la figura 4-10 corresponden a condiciones típicas de operación de reactores continuos en los casos de tres importantes procesos, los tiempos t_A , t_B y t_C corresponden a valores típicos para procesos de reactores continuos. La línea B corresponde al proceso convencional de lodos activos. Los valores en régimen estacionario, S_e y $X_{V,a}$, para el caso del reactor continuo operando con un tiempo de residencia t_B , corresponden a las intersecciones de la línea B con las curvas de la *DBO* y de los *MLVSS*, respectivamente, y se encuentran normalmente dentro de los intervalos siguientes:

S_e : correspondiente a una reducción de la DBO del 85 al 95 %

$X_{V,s}$: 2,000-3,000 mg/l

La línea C corresponde al proceso de aireación prolongada. En este caso la producción neta de *MLVSS* es teóricamente nula (la tangente a la curva *MLVSS* es paralela al eje de las abscisas). Los valores de equilibrio para $X_{V,a}$, en el caso del reactor continuo que trabaja a un tiempo de residencia t_c , corresponde a la intersección de la línea C con la curva *MLVSS*, y están comprendidos en el intervalo de 3,000-6,000 mg/l.

La línea A corresponde al proceso de lodos activos a carga elevada. En este caso la velocidad de consumo de sustrato dS/dt (pendiente de la tangente a la curva *S* en función de *t*) es apreciablemente más elevada que la del proceso convencional de lodos activos. El intervalo normal para los valores de equilibrio de $X_{V,a}$ es inferior (600 a 1,000 mg/l) y las reducciones de la *DBO* son del orden del 60 al 75% para el caso del reactor continuo que trabaja a un tiempo de residencia t_c . Estos valores corresponden a las intersecciones de la línea A con las curvas de *MLVSS* y *S* en función de *t*, respectivamente.

Los datos cinéticos obtenidos del reactor discontinuo se reflejan en la ecuación de Michelis-Menten.

$$V = k_2 \frac{E_t S_e}{S_e + K_S} \quad (5)$$

De la ecuación anterior se desprenden dos corolarios, los cuales se enuncian a continuación, utilizándose normalmente el segundo para el diseño del reactor biológico continuo:

1. A concentraciones elevadas de sustrato, el consumo del mismo sigue la cinética de las ecuaciones de orden cero. Lo que significa que la velocidad de consumo es constante e independiente de la concentración de sustrato. Esta característica se observa en las primeras etapas de la operación del reactor en discontinuo cuando la concentración de sustrato aún es alta (*DBO elevada*). Como se observa en la figura 4-10, curva *S* en función de *t*, en la sección $t=0$ a t' , en esta región la pendiente es constante y dS/dt coinciden prácticamente con la curva *S*.

2. El consumo de sustrato a concentraciones bajas del mismo (valores de *DBO* menores a 500 mg/L) sigue una cinética de primer orden, donde la velocidad de consumo es proporcional a la concentración de sustrato remanente, el cual corresponde a la sección de la curva *S* en función de *t* entre *t_A* y *t_C*. En esta sección la curva de *S* en función de *t* decrece con el tiempo la velocidad de consumo de sustrato es directamente proporcional a su concentración que corresponde a una cinética de primer orden.

a) Formulación del Reactor Biológico Continuo.

Para llegar a la formulación de un reactor biológico continuo se considera una operación a régimen estacionario con mezcla completa; luego, el balance de materia es:

$$\begin{array}{l} \text{Velocidad neta} \\ \text{de cambio en el} \\ \text{reactor} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra en el} \\ \text{reactor} \\ \text{(influyente)} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{abandona el} \\ \text{reactor (efluente)} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} \quad (6)$$

Como se considera régimen estacionario, la concentración del sustrato en el reactor permanece constante, por lo tanto la ecuación (6) queda:

$$0 = \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra en el} \\ \text{reactor} \\ \text{(influyente)} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{abandona el} \\ \text{reactor (efluente)} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} \quad (7)$$

Dado que los dos primeros términos del segundo miembro de la ecuación (7) son el consumo neto del sustrato debido a la acción hidráulica se define:

$$\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{entra en el} \\ \text{reactor} \\ \text{(influyente)} \end{array} = Q_0 S_0 \quad (8)$$

$$\begin{array}{l} \text{Velocidad a la} \\ \text{que el sustrato} \\ \text{abandona el} \\ \text{reactor} \\ \text{(influyente)} \end{array} = Q_0 S_e \quad (9)$$

Por lo tanto la velocidad de consumo de sustrato, tercer término del segundo miembro de la ecuación (7), debido a la utilización por los microorganismos (degradación aerobia), esta dado por la pendiente, dS/dt de la curva de la DBO, figura 4-10. La derivada de dS/dt es propiamente negativa por lo que en lo sucesivo se utilizará el valor absoluto indicándose como $(dS/dt)_a$.

$$(dS/dt)_a = - (dS/dt) \quad (10)$$

Como S se dá en unidades de volumen ($mg\ DBO_5/L$), $(dS/dt)_a$ se multiplicará por el volumen del reactor antes de sustituirse en la ecuación (7), quedando

$$\begin{array}{l} \text{Velocidad a la que el} \\ \text{sustrato oxida en el} \\ \text{reactor} \end{array} = (dS/dt)_a V \quad (11)$$

Sustituyendo (8), (9) y (11) en ecuación (7), se obtiene:

$$0 = Q_0 S_0 - Q_0 S_e - \left[\frac{dS}{dt} \right]_a \quad (12)$$

rearrreglando la ecuación 12 tenemos:

$$\left[\frac{dS}{dt} \right]_a = Q_0 \frac{(S_0 - S_e)}{V} \quad (13)$$

Si la velocidad de consumo de sustrato se expresa en unidad de masa de *MLVSS* (sólidos volátiles en suspensión en el licor mezclado) en el reactor, esta cantidad se representa por q , y se denomina velocidad específica de consumo de sustrato, definida como:

$$q = -\frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a \quad (14)$$

Combinando las ecuaciones (13) y (14)

$$q = -\frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{Q_0(S_0 - S_e)}{VX_{v,a}} \quad (15)$$

Si el tiempo de residencia hidráulico en el reactor simbolizado por t_h es:

$$t_h = V/Q_0 \quad V = t_h Q_0 \quad (16)$$

Sustituyendo

$$q = -\frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a = \frac{S_0 - S_e}{X_{v,a} t_h} \quad (17)$$

La velocidad específica de consumo de sustrato es $(S_0 - S_e)/X_{v,a} t_h$, que corresponde a la velocidad de consumo de sustrato en el reactor continuo por unidad de masa de *MLVSS* presente en el reactor, por lo tanto las unidades son:

$$\frac{S_0 - S_e}{X_{v,a} t_h} = \frac{\text{mg de DBO consumida}}{(d)(\text{mg de MLVSS})}$$

Al obtener la ecuación (17) se hace necesario establecer cual es el modelo cinético a utilizar en $\left(\frac{dS}{dt} \right)_a$ y poder aplicar la ecuación mencionada. Por lo que se supondrá que el modelo que sigue es el primer grado, esto es:

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_a = K S_e \quad (18)$$

la ecuación (18) es de acuerdo al corolario 2, sustituyendo $\left(\frac{dS}{dt}\right)_a$ de la ecuación (18) en la ecuación (17), se obtiene:

$$q = \left(\frac{1}{X_{V,a}}\right) K S_e = (S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h \quad (19)$$

Si la concentración de MLVSS en equilibrio $(X_{V,a})$, es fijada por una operación específica del reactor continuo, la relación $\frac{K}{X_{V,a}}$, es una constante k , entonces:

$$k = \frac{K}{X_{V,a}} \quad (20)$$

Luego la ecuación (19) queda

$$q = (S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h = k S_e \quad (21)$$

En la siguiente figura 5-4 se puede observar la posible aplicación de la ecuación (21). Donde el primer miembro de la ecuación $(S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h$ desaparece conforme t_h se acerca al infinito (tiempo de residencia infinito). Luego el término S_e en el segundo miembro tiende a cero porque k debe ser diferente de cero ($k \neq 0$), esta representación corresponde al consumo completo del sustrato.

Si se utilizara otro parámetro, como por ejemplo DQO , podría suceder que la línea recta no pase por el origen. Donde la abscisa en el origen S_n (figura 5-3) corresponde a la concentración de materia no biodegradable, DQO residual, que permanecerá aún después de un tiempo infinito de residencia en el reactor biológico. Para este caso la Ecuación (21) queda:

$$q = (S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h = k(S_e - S_n) \quad (22)$$

b) Balance de Materia.

Es básico conocer la producción de $MLVSS$ y el consumo de oxígeno para diseñar reactores biológicos aerobios, esto implica, como se ha mencionado establecer modelos matemáticos. Por lo que resulta necesario definir parámetros biocinéticos como son Y' , Y , k_d , a y b .

La evaluación de estos parámetros se lleva a cabo experimentalmente en reactores biológicos continuos a escala semi-piloto, que es como se indica en el trabajo de Ramalho⁴. Para llegar a la definición de los parámetros biocinéticos deberá comprenderse el mecanismo básico de la degradación aerobia de los sustratos (figura 4-11). Para un mejor entendimiento y comprensión se considerará el caso hipotético de que el sustrato este formado por lactosa pura.

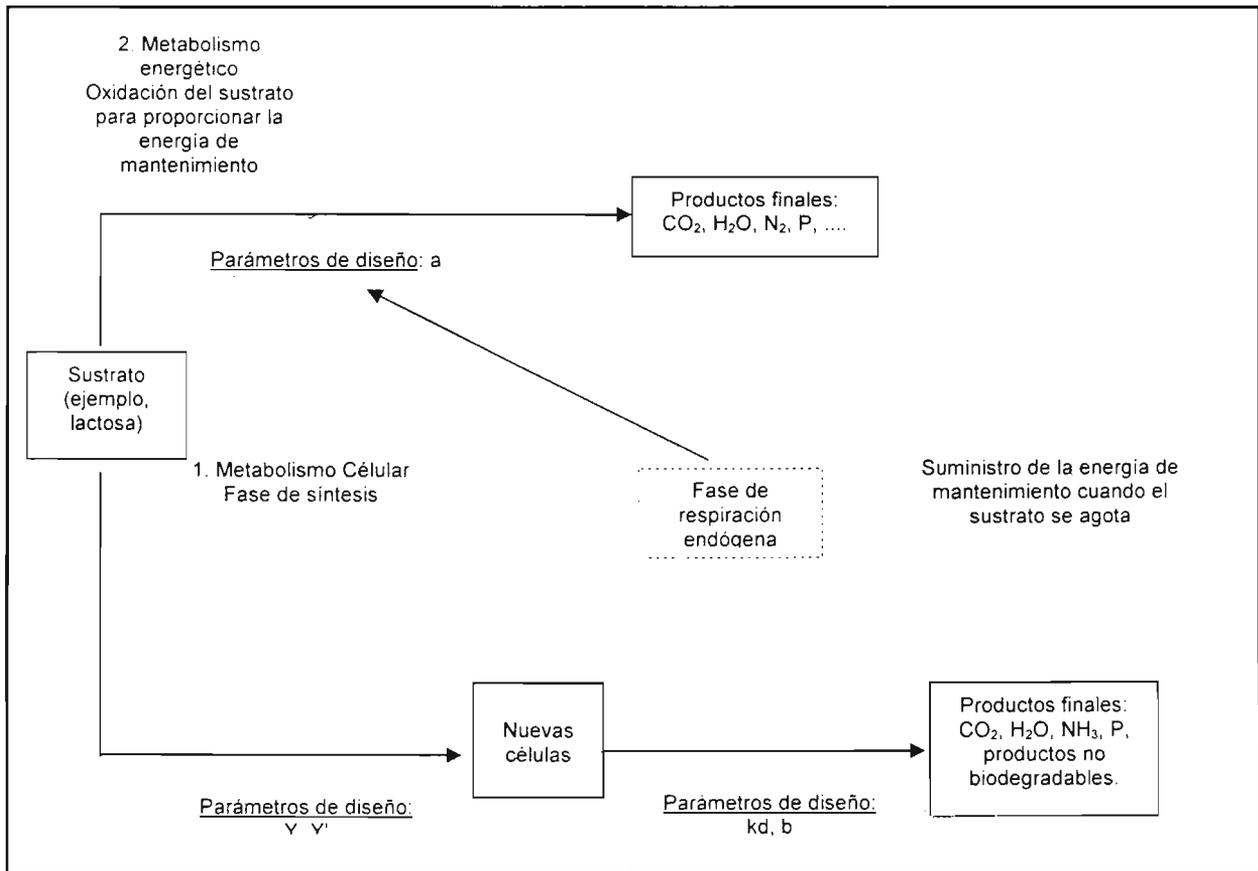


FIGURA 4-11. MECANISMO DE LA DEGRADACIÓN BIOLÓGICA AEROBIA.

Suponiendo que la concentración de lactosa en el influente (S_0) es de 1,050 mg/l, si esta concentración se reduce en el efluente hasta 50 mg/l. Si la $DTeO$ (Demanda Teórica de Oxígeno) que es como se medirá la concentración de lactosa, por lo que se escribirá la ecuación química (representada por una unidad de azúcar).



pesos moleculares 30 32 44 18

Entonces la $DTeO$ del influente es $(32/30) * 1,050.0 = 1,120.0$ mg/l y la $DTeO$ del efluente es $(32/30)*50 = 53.3$ mg/l y la $DTeO$ consumida es $(1,120.0 - 53.3) = 1,066.7$ mg/l.

Se puede observar la $DTeO$ y el sustrato consumido son proporcionales, donde la constante es $32/30$. Como la DBO , DQO y COT se pueden correlacionar con la $DTeO$ el consumo de sustrato se puede expresar en función de estos parámetros. En la figura 4-11 se puede observar que el sustrato se consume durante el proceso biológico de dos formas:

1. Metabolismo celular. Consiste en que parte del sustrato, después de haber sido consumido como alimento por los microorganismos, éste se utiliza para sintetizar nuevas células de microorganismos, lo cual conduce a un aumento de la biomasa, esto corresponde a la fase de síntesis para este caso particular:



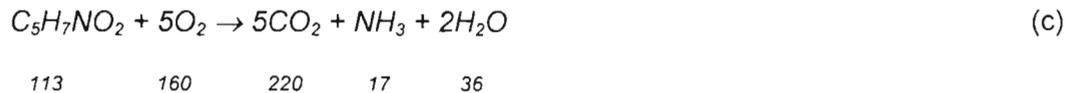
peso molecular 5 (30) = 150 113

MLVSS

El producto $C_5H_7NO_2$ es la composición media de las células de $MLVSS$ el nitrógeno requerido para esta síntesis se proporcionará, concluyéndose que el porcentaje de nitrógeno en las células de $MLVSS$ es $(14/113) * 100 = 12.4 \%$.

2. Metabolismo energético. El sustrato restante se oxida, siendo los productos principales finales CO_2 y H_2O . Este proceso de oxidación es esencial para la producción de energía de mantenimiento, utilizada por las células para continuar sus funciones vitales, como es la síntesis de nuevas células y la movilidad. En general, para la degradación aerobia de los sustratos orgánicos, aproximadamente 2/3 del sustrato consumido se oxida para satisfacer las necesidades energéticas y el tercio restante se convierte en biomasa. Esta afirmación es válida cuando se aplica la *DBO*, *DQO* y *COT*.

Como el sustrato (materia orgánica) se consume continuamente para sustentar el metabolismo celular y energético, la concentración del sustrato irá disminuyendo. Al consumirse totalmente la materia orgánica los microorganismos entran a la fase de respiración endógena. En estas condiciones la materia celular se oxida para satisfacer las necesidades energéticas y de mantenimiento, lo que traerá como consecuencia una disminución de la biomasa, suponiendo que los VSS (sólidos volátiles en suspensión) es $C_5H_7NO_2$, la oxidación celular correspondiente a la respiración endógena se da por



c) Definición del Parámetro Y' .

Y' es la fracción de sustrato consumido para la síntesis celular. Debido a la proporcionalidad entre el consumo de sustrato y la *DTeO*, *DQO* o *DBO*, también Y' representa fracciones de *DTeO*, *DQO* o *DBO*. Utilizadas para síntesis de nuevas células. Por lo que:

$$\begin{aligned}
 Y' &= \text{Kg de sustrato consumido, utilizado para la síntesis/Kg de sustrato total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DTeO consumido para la síntesis/Kg de DTeO total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DQO consumido para la síntesis/Kg de DQO total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DBO consumido para la síntesis/Kg de DBO total consumida.} & (23)
 \end{aligned}$$

El valor numérico de Y' es independiente de los parámetros utilizados para expresar el consumo de sustrato, ya que es una fracción del sustrato consumido utilizado en la síntesis, por tanto es adimensional. El mismo factor de conversión para cambiar los parámetros en los que se exprese el consumo de sustrato aparece simultáneamente en el numerador y denominador, eliminándose en la ecuación (23). Este parámetro en los procesos aerobios no aparece, en su lugar se utiliza Y que se relaciona con Y' .

d) Definición del Parámetro "a".

"a" es la fracción de sustrato consumido y utilizado para la producción de energía mediante la oxidación de sustrato, entonces $Y' + a = 1.0$.

donde

$$\begin{aligned}
 a &= \text{Kg de sustrato consumido, utilizado para la el metabolismo energético/Kg de sustrato total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DTeO consumido para metabolismo energético /Kg de DTeO total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DQO consumido para metabolismo energético /Kg de DQO total consumida.} \\
 &= \text{Kg de DBO consumido para metabolismo energético /Kg de DBO total consumida.}
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Las observaciones de Y' aplican para este parámetro, "a". Después del análisis que realiza Ramalho⁽³⁾ determina que el valor numérico de las ecuaciones (25), (26) y (27) es el mismo (Kg de oxígeno utilizados en la oxidación del sustrato). Más los valores de los denominadores varían en función de los parámetros elegidos para expresar el consumo de sustrato.

$$a_{DTeO} = a = \text{Kg } O_2 \text{ (en la oxidación del sustrato) / (Kg DTeO total consumida)} \tag{25}$$

$$a_{DQO} = a = \text{Kg } O_2 \text{ (en la oxidación del sustrato) / (Kg DTeO total consumida)} \tag{26}$$

$$a_{DBO} = a = \text{Kg } O_2 \text{ (en la oxidación del sustrato) / (Kg DTeO total consumida)} \tag{27}$$

Por lo que los valores numéricos de a en las ecuaciones (25), (26) y (27) serán diferentes.

e) Definición del Parámetro "Y".

"Y" se define en relación con Y'

$$Y = \text{Kg de MLVSS producidos} / \text{Kg de sustrato total consumido} \quad (28)$$

En consecuencia, Y representa la producción de lodo biológico por kilogramo de sustrato total consumido.

La relación que se establece entre Y e Y' se efectúa mediante el ejemplo específico del caso expuesto para una mejor comprensión, donde

$$1.42 Y_{DTeO} + a = 1 \quad (29)$$

Aunque el factor 1.42 se desprende del ejemplo específico de la lactosa, este factor se puede aplicar a todos los sustratos, siempre y cuando se tome $C_5H_7NO_2$ como fórmula empírica media de los MLVSS.

En el caso específico de la lactosa la "molécula" de sustrato se define como una unidad de azúcar, conteniendo un átomo de carbono, que corresponde a un "peso molecular" de 30 en la siguiente ecuación se observa como el peso molecular del sustrato se elimina:

$$\{5(30)\} / 113 \times 3 \times 30 = 1.42 \quad (30)$$

Por lo que el peso molecular puede ser cualquier M (en el que la molécula se defina sobre la base de la unidad que contiene en átomo de carbono), obteniendo la siguiente ecuación.

$$(5M / 113) \times (32 / M) = 5 \times 32 / 113 = 1.42 \quad (31)$$

Entonces la ecuación (29) es válida para todos los sustratos, teniendo como única restricción el utilizar como fórmula empírica media para los MLVSS $C_5H_7NO_2$.

f) Parámetros de diseño correspondiente a la respiración endógena.

La respiración endógena se refiere a la oxidación de la materia celular con objeto de proporcionar energía para el mantenimiento de los microorganismos cuando la fuente externa de materia orgánica o sustrato ha sido consumida, que también se conoce como "festín caníbal".

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Asumiendo que en la fórmula química los *MLVSS* son $C_5H_7NO_2$, la oxidación celular corresponde a la respiración endógena, dada por la ecuación (c).

f.1) El parámetro k_d .

El parámetro k_d se define como la fracción de *MLVSS* por unidad de tiempo ($día^{-1}$) oxidado durante un proceso de respiración endógena, k_d tiene unidades de t^{-1} y se denomina coeficiente de descomposición microbiana, luego:

$$k_d = \text{Kg MLVSS oxidados} / (\text{Kg MLVSS en el reactor}) (\text{día}) \quad (32)$$

Reescribiendo

$$\text{Kg} / (\text{día}) \text{ MLVSS oxidados} = k_d (\text{Kg MLVSS en el reactor}) \quad (33)$$

(respiración endógena)

Los *MLVSS* presentes en el reactor continuo en cualquier momento es una cantidad constante de acuerdo a la suposición inicial de operación a régimen estacionario, es:

$$\text{Kg} / (\text{día}) \text{ de MLVSS oxidado} = k_d X_{V,a} V \quad (34)$$

donde $X_{V,a}$ = concentración de *MLVSS* en *MLVSS* por volumen.

y V = es el volumen del reactor en volumen.

Entonces de las ecuaciones (33) y (34) se obtiene

$$\text{Kg} / (\text{día}) \text{ de MLVSS} = k_d X_{V,a} V \quad (35)$$

f.2) Definición del parámetro b .

El parámetro b tiene dimensiones de tiempo⁻¹ y se define como kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de *MLVSS* en el reactor en el proceso de respiración endógena, esto es:

$$b = \text{Kg } O_2 / (\text{día}) (\text{Kg MLVSS en el reactor}) \quad (36)$$

El consumo de oxígeno en la respiración endógena es

$$\text{Kg } O_2 / (\text{día}) = b (\text{Kg MLVSS en el reactor}) \quad (37)$$

respiración endógena

o bien de la ecuación (34)

$$Kg O_2 / (día) = b X_{V,a} V \quad (38)$$

Se puede obtener la relación entre k_d y b a partir de las suposiciones de la fórmula empírica de los MLVSS es $C_5H_7NO_2$, y a la ecuación (c). De las ecuaciones (36) y (32) se obtiene

$$b / k_d = Kg O_2 / Kg MLVSS oxidado \quad (39)$$

de la ecuación (c) la relación es

$$b / k_d = (160 / 113) = 1.42 \quad (40)$$

En consecuencia, se consumen 1.42 Kg de oxígeno para oxidar 1 Kg de MLVSS.

Es importante observar que los parámetros a e Y son relaciones y k_d y b son velocidades, aunque el tiempo no aparece en las definiciones de Y y a , más en k_d y b , sí.

g) Balance de materia para determinar el consumo de oxígeno.

Es básico tener el conocimiento del consumo de oxígeno para efectuar un consumo específico de DBO, en el momento de diseñar el equipo de aireación. El oxígeno es requerido con dos fines para: a) oxidar el sustrato con el objeto de proporcionar energía a las células y b) en el proceso de respiración endógena.

1. El oxígeno requerido para oxidar el sustrato se obtiene a partir de la ecuación

$$Kg O_2 / (día) = a (S_0 - S_e) Q_0 = a S_r Q_0 \quad (41)$$

donde $S_r = S_0 - S_e = \text{sustrato total consumido}$ (42)

2. El oxígeno requerido en la respiración endógena se obtiene utilizando la ecuación (38), aplicando un factor se transforma en

$$Kg O_2 / día = a (S_0 - S_e) Q_0 + b X_{V,a} V = a S_r Q_0 + b X_{V,a} V \quad (43)$$

Cabe mencionar que la ecuación (43) no incluye el oxígeno empleado en la nitrificación, por que esta ecuación se desarrollo sobre la base de la demanda de oxígeno de la materia carbonosa. Si se produce nitrificación considerable se incluirá en tercer término en el segundo miembro de la ecuación (43).

h) Balance de materia para la determinación de la producción neta de biomasa (MLVSS).

Del análisis anterior se desprende que la fracción de sustrato consumido se utiliza en la producción de MLVSS y se calculan los kilogramos de MLVSS producidos, por esta ecuación

$$\begin{aligned} \text{Kg MLVSS producidos} &= Y_{DQO} (\text{Kg DQO total consumido}) \\ \text{Kg MLVSS producidos} &= Y_{DBO} (\text{Kg DBO total consumido}) \end{aligned} \quad (44)$$

además de la parte de lo producido se pierde en respiración endógena y que se calcula con la ecuación (34)

La producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia de los MLVSS producidos con la siguiente ecuación:

$$\text{Kg / día de MLVSS producido} = Y (S_0 - S_e) Q_0 = Y S_r Q_0 \quad (45)$$

y la cantidad perdida por respiración endógena se obtiene por la ecuación (34), entonces se obtiene

$$\begin{aligned} \text{Kg MLVSS / día} &= \text{Kg / d de MLVSS producido} - \text{Kg de MLVSS oxidado} \quad (46) \\ \text{producción neta} & \qquad \qquad \qquad \text{respiración endógena} \end{aligned}$$

o bien

$$\text{Kg MLVSS / día} = \Delta X_V = Y (S_0 - S_e) Q_0 - k_d X_{V,a} V = Y S_r Q_0 - k_d X_{V,a} V \quad (47)$$

i) Expresiones alternativas para la determinación de la producción.

Considerando la ecuación (47) que al dividirse por $X_{V,a} V$ y si $V/Q_0 = t_h$, se obtiene

$$(\Delta X_V / V) X_{V,a} = Y ((S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h) - k_d \quad (48)$$

De la ecuación anterior, el término $(S_0 - S_e) / X_{V,a} t_h$, es la velocidad específica de consumo de sustrato y el término $(\Delta X_V / V) X_{V,a}$ a partir de aquí se designará como μ , el cual se obtiene de determinaciones a escala de laboratorio, en unidades métricas prácticas

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\Delta X_v / V}{X_{v,a}} = \frac{\text{Kg MLVSS producidos} / (\text{día}) (\text{Mkg de licor})}{\text{Kg MLVSS} / \text{Mkg de licor}} \\ &= \frac{\text{Kg MLVSS producidos}}{(\text{día}) \text{ Kg MLVSS}} \end{aligned} \quad (49)$$

Entonces, μ corresponde a la producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor. μ se denomina velocidad específica de crecimiento de la biomasa, por lo que la ecuación (48) queda:

$$\mu = Yq - kd \quad (50)$$

Considerando la ecuación (14)

$$\mu = (1 / X_{v,a}) (dX_{v,a} / dt)_g \text{ Kg MLVSS producidos} / (d) (\text{Kg MLVSS}) \quad (51)$$

El subíndice g significa crecimiento. Combinándose las ecuaciones (50), (51) y (14) la ecuación (50) queda

$$\mu = 1 / X_{v,a} (dX_{v,a} / dt)_g = Y (1 / X_{v,a}) (dS / dt)_a - k_d \quad (52)$$

finalmente

$$(dX_{v,a} / dt)_g = Y (dS / dt)_a - k_d X_{v,a} \quad (53)$$

Se puede escribir una ecuación alternativa para la producción de biomasa en función de un único parámetro como Y_n (Y_n es el parámetro de producción neta), en lugar del parámetro de producción Y y de k_d de descomposición microbiana, por tanto la ecuación (47) queda

$$\Delta X_v = Y_n (S_0 - S_e) Q_0 \quad (54)$$

La ecuación (54) describe directamente la producción neta. Si la ecuación (54) se divide por $X_{v,a}V$ y utilizando la definición de μ y q de la ecuación (14), se obtiene

$$\mu = Y_n q \quad (55)$$

en forma diferencial

$$\mu = \frac{1}{X_{V,a}} \left(\frac{dX_{V,a}}{dt} \right)_g = Y_n \frac{1}{X_{V,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a \quad (56)$$

Simplificando

$$\left(\frac{dX_{V,a}}{dt} \right)_g = Y_n \left(\frac{dS}{dt} \right)_a \quad (57)$$

Si se sustituye la ecuación (50) en ecuación (55) y despejando Y_n , se obtiene la relación entre el parámetro de producción de lodos Y y el parámetro de producción Y_n :

$$Y_n = \frac{Y}{\left(1 + \left(\frac{k_d}{\mu} \right) \right)} \quad (58)$$

j) Expresiones alternativas para el consumo de oxígeno.

Para calcular el consumo total de oxígeno se retoma la ecuación (43), escribiendo el primer miembro como $VUO \times V$

$$(VUO)(V) = a(S_0 - S_e)Q_0 + bX_{V,a} \left[\frac{Kg}{d} \right] \quad (59)$$

VUO es la velocidad de utilización del oxígeno que es el oxígeno consumido por día por unidad de volumen de reactor. Al dividir la ecuación (59) por $X_{V,a} V$ y si $V/Q_0 = t_h$, se obtiene

$$\frac{(VUO)(V)}{X_{V,a}V} = \frac{a(S_0 - S_e)Q_0}{X_{V,a}V} + \frac{bX_{V,a}}{X_{V,a}} \quad \therefore \quad \frac{(VUO)}{X_{V,a}} = \frac{a(S_0 - S_e)}{X_{V,a}t_h} + b \quad (60)$$

VUO es obtenida por determinaciones a escala de laboratorio, con unidades de $mg \text{ O}_2 / \text{día L}$, en unidades métricas

$mg O_2 / \text{litro de licor} = Kg O_2 / Mkg \text{ de licor}$

$(VUO) = Kg O_2 / Mkg \text{ de licor}$

Por lo que el primer miembro de la ecuación (60) es una medida del consumo de oxígeno por unidad de tiempo y unidad de masa de lodo biológico presente en el reactor, entonces

$(VUO) / X_{v,a} = R_{O_2}$ y se denominara velocidad específica de consumo de oxígeno y la ecuación

(60) queda

$$R_{O_2} = a q + b \quad (61)$$

escribiendo en forma diferencial

$$R_{O_2} = \frac{1}{X_{v,a}} \frac{dO_2}{dt} = a \frac{1}{X_{v,a}} \left(\frac{dS}{dt} \right)_a + b \quad (62)$$

Multiplicando la ec. 62 por $X_{v,a}$

$$\frac{dO_2}{dt} = a \left(\frac{dS}{dt} \right)_a + b X_{v,a} \quad (63)$$

Por otro lado siguiendo el razonamiento de Ramalho⁴ se puede escribir una ecuación para el consumo de oxígeno que utilice los parámetros de producción de lodos Y y k_d quedando en función de la DBO_f final, ya que si el parámetro de producción de lodo Y se determina también experimentalmente utilizando la DBO_f para medir las concentraciones de sustrato se tiene:

$$Kg O_2/día = Q_0(S_0 - S_e) - 1.42 (Y(S_0 - S_e) Q_0 - k_d X_{v,a} V) \quad (64)$$

donde S_0 y S_e están expresadas en $mg DBO_f/L$, reordenando

$$Kg O_2/día = Q_0(1 - 1.42Y) (S_0 - S_e) + 1.42 k_d X_{v,a} V \quad (65)$$

$(S_0 - S_e)$ se expresa en función de DBO_f/L e Y en $Kg MLVSS \text{ producidos}/Kg DBO_f \text{ consumida}$.

⁴ R. S. Ramalho.; "Tratamiento de Aguas Residuales"

k) Relación para calcular las condiciones óptimas de decantación del lodo.

Para el funcionamiento adecuado del proceso de lodos activos, los *MLVSS* del efluente del reactor deben separarse rápidamente en el clarificador secundario. Se dan condiciones que a veces no se permite que el lodo ligero y disperso dificulte sedimentarse.

El lodo con estas características, pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente del clarificador secundario. Como la concentración de sustrato en el efluente es pequeña, no hay bastante alimento para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen el lodo; por tanto los microorganismos se ven obligados a funcionar a régimen de respiración endógena.

Las características de decantación de los lodos se evalúan mediante pruebas de sedimentación en el laboratorio. Para la evaluación se utilizan dos parámetros:

1. Velocidad de sedimentación por zonas (*VSZ*). Este parámetro indica que un lodo será fácilmente sedimentable, si la velocidad es elevada a 6 m/h aproximadamente.
2. Índice volumétrico de lodo (*IVL*). Este parámetro se define como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de sólidos en suspensión del licor mezclado (*MLVSS*) expresado en base seca después de un tiempo *t* a un volumen conocido (1L).

Las características de decantación del lodo se correlacionan con el parámetro denominado relación de alimento a microorganismos que es *F/M*, donde

$$F = (Q_0 S_0) \times 86.4 \quad \text{Kg/día} \quad (66)$$

$$M = (X_{V,a} V) \times 10^{-3} \quad \text{Kg} \quad (67)$$

Donde:

$$Q_0: \quad m^3/día$$

$$S_0 \text{ y } X_{V,a}: \quad mg/L$$

y

$$F/M = \text{Kg de sustrato en el influente} / (\text{día}) (\text{Kg MLVSS en el reactor}) \quad (68)$$

entonces

$$F/M = Q_0 S_0 / X_{V,A} V \quad (69)$$

Sí $V/QO = t_h =$ tiempo de residencia hidráulico

$$F/M = S_O / X_{V,a} t_h \quad (d^{-1}) \quad (70)$$

Para que un lodo tenga condiciones óptimas de sedimentación se debe tener una VSZ elevada y un IVL bajo, esto de acuerdo con datos experimentales el valor óptimo de la relación F/M se encuentra en un rango de

$$0.6 > F/M > 0.3 \quad (71)$$

Para obtener un lodo floculento óptimo se calcula el tiempo de residencia hidráulico t_h , utilizando la ecuación (70) se tiene

$$(F/M)_{opt} = S_O / X_{V,a} t_h \quad (72)$$

despejando t_h

$$t_h = S_O / (X_{V,a} (F/M)_{opt}) \quad (73)$$

Es importante tener en cuenta la geometría del sistema y la forma en que el agua residual se alimenta al reactor, evitando que exista una mezcla pobre, de ocurrir una mezcla pobre los $MLVSS$ entran en contacto con el agua negra, prevaleciendo en la entrada una relación elevada de F/M . Bajo estas condiciones el lodo que se obtiene, es un lodo con características de sedimentación pobre.

Cuando la mezcla es completa en el sistema, la relación de F/M , sé esta trabajando en el intervalo óptimo, ecuación (71), y por tanto el lodo producido es un lodo denso. El sustrato o materia orgánica fácilmente degradable son las provenientes de las aguas residuales domésticas, de la industria azucarera, ya que son inmediatamente disponibles como alimento para los microorganismos, dando por resultado un crecimiento rápido. En cambio los sustratos orgánicos complejos, por ejemplo aguas residuales provenientes del área química y petroquímica, se les debe aplicar un tratamiento químico antes de disponerse como alimento de los microorganismos, en este caso el crecimiento es lento.

5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS.

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como urbanas desde aproximadamente un siglo. El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de forma empírica. Al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño de sistemas de lodos activados.

Este proceso nace de la observación al someter a aireación cualquier agua residual, urbana o industrial, durante un periodo de tiempo, se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El análisis del lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los lodos se componen de bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoarios y rotíferos, de donde los más importantes son las bacterias ya que se encuentran en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.

5.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LAS PLANTAS DE LODOS ACTIVADOS.

En el diseño de plantas de lodos activados es necesario conocer los parámetros de diseño k , Y , k_d , a y b . Si en una planta real se recicla parte del lodo descargado en el clarificador secundario, es fundamental seleccionar las variables, unas de ellas son la concentración $X_{V,a}$ de *MLVSS* en el reactor. Otra variable es $V_{V,u}$ de *MLVSS* en el lodo reciclado, que es también la concentración de la descarga del clarificador secundario, que es también la concentración de la descarga del clarificador secundario, se indicara cual será la concentración esperada en la sedimentación del lodo representada por $X_{V,u}$. Una suposición importante para fines de cálculo en el balance de materia es que la purga es continua.

Aunque se ha realizado una deducción de las ecuaciones de diseño anteriormente, estas se desarrollaron en función del caudal Q_0 y de la concentración del sustrato S_0 de la alimentación combinada. Por lo que para diseñar una planta de lodos activos es deseable reescribir todas las ecuaciones que se aplicaran, en función de las variables primarias correspondientes a la alimentación inicial.

Para obtener las ecuaciones se debe establecer primero la relación entre las variables correspondientes a la alimentación inicial y a las de alimentación combinada. Las ecuaciones se presentan en el Anexo I, éstas se obtuvieron utilizando la figura 4-9.

Siguiendo el procedimiento de cálculo propuesto por Ramalho⁴ en el presente capítulo; con los datos sobre la población en México se consideran datos de población del INEGI, estos datos se tratarán estadísticamente en el siguiente apartado.

5.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.

Para definir el tipo de tratamiento y la capacidad de la planta se deben conocer, de manera primordial, los siguientes elementos:

- d) Flujo del agua a tratar.
- e) Características físicas, químicas y biológicas del agua.

5.1.2. DEFINICIÓN DEL FLUJO A TRATAR.

Con base en datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) se definirá el flujo.

Se considerará que la vida útil de los equipos de la planta será de 15 años, por lo que el flujo que tratará debe corresponder al crecimiento de la población que aportará el agua residual.

La CNA tiene definidos ciertos consumos para diferentes niveles de población y climas del país. En la tabla 5-1 se muestran estos datos.

TABLA 5-1. CONSUMOS POR REGIÓN.

Habitantes	Clima cálido	Clima templado	Clima frío
2,500 a 15,000	150	125	100
15,000 a 30,000	200	150	125
30,000 a 70,000	250	200	175
70,000 a 150,000	300	250	200
más de 150,000	350	300	250

Nota: Consumo en litros/habitantes/día

Para fines del presente trabajo se considerará un consumo de 250 l/h/d; en un clima cálido asimismo, la CNA define que la aportación de aguas residuales corresponde al 85% de las aguas servidas a la población.

Como se dijo anteriormente, la vida útil de la planta se considerará de 15 años por lo que, considerando la tendencia del crecimiento de la población del país, se definirá la población futura a la que habrá de servir el sistema de tratamiento de aguas residuales, en un clima templado de 70,000 a 150,000.

Para definir el crecimiento, se utilizarán diversos métodos matemáticos de proyección; los métodos más comúnmente utilizados son los siguientes:

- *Incremento aritmético*

La fórmula es la siguiente:

$$P_m = \frac{P_n + P_n - P_0}{n - a_0} \times (N)$$

donde:

P_m = Población proyectada en el año m

P_n = Población en el año n

P_o = Población en el año 0

A_n = Año n

A_o = Año 0

N = Período entre el año n y el año m

- *Incremento geométrico*

La formula utilizada es la siguiente:

$$\log P_m = \frac{\log P_n + \log P_n - \log P_o}{A_n - A_o} \times N$$

donde:

P_m = Población proyectada en el año m

P_n = Población en el año n

P_o = Población en el año 0

A_n = Año n

A_o = Año 0

N = Período entre el año n y el año m

- *Incremento de la tasa media.*

La formula utilizada es la siguiente:

$$P_m = P_n \times (1 + i_r)^N$$

donde:

- P_m = Población proyectada en el año m
 P_n = Población en el año n
 i_r = Tasa de crecimiento media de los últimos cuarenta años

- *Ajuste de la curva.*

La formula utilizada para el ajuste de la curva es la siguiente:

$$P_m = A \times e^{Bn}$$

donde:

- P_m = Población proyectada en el año m
 A = Constante
 B = Coeficiente de regresión
 n = Año de proyección

A y B se calculan de la siguiente manera:

$$A = \frac{\sum P - B \times \sum n}{N}$$

$$B = \frac{N \times \sum(n \times P) - \sum n \times \sum P}{N \times \sum n^2 - (\sum n)^2}$$

donde

- P = Población de los censos anteriores.
 n = Años correspondientes a los censos.
 N = Numero de datos.

Considerando los datos de población de los últimos cuatro Censos de Población y Vivienda, se determinará la tasa de crecimiento más adecuada. En la siguiente tabla (5-2) se muestran los datos de población de los últimos cuatro censos.

TABLA 5-2. DATOS DE POBLACIÓN.

Año	Población (habitantes)
1960	33'118,600.00
1970	45' 822,120.00
1980	64' 636,625.00
1990	81'140,000.00

Con estos datos y con los métodos anteriormente descritos se determinan las tasas de crecimiento siguientes:

TABLA 5-3. TASAS DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN NACIONAL.

Método	Tasa de Crecimiento %
Crecimiento aritmético	1.66
Crecimiento geométrico	2.25
Tasa media	3.50
Ajuste de curva	3.21

Considerando los datos de la tabla anterior, se selecciona el valor de 2.5 %, debido a que la tasa de crecimiento poblacional es más representativa con el método de crecimiento geométrico. En la tabla siguiente se muestra esta proyección.

TABLA 5-4. PROYECCIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DESDE 2004 AL AÑO 2018.

Año	Población (Habitantes)
2004	124,920
2005	127,731
2006	130,605
2007	133,544
2008	136,548
2009	139,621
2010	142,762
2011	145,974
2012	149,258
2013	152,61
2014	156,050
2015	159,561
2016	163,076
2017	166,822
2018	170,575

La población servida dentro de 15 años en una zona con 170,575 habitantes. Con base en esta proyección y la población constante, se tiene la aportación anual de aguas residuales mostrada en la tabla 5-5.

TABLA 5-5. APORTACIÓN DE AGUA RESIDUAL A LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

CONCEPTO / UNIDADES		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ZONA URBANA																
Viviendas	Viviendas	23.794	24.330	24.877	25.437	26.009	26.594	27.192	27.804	28.429	29.069	29.724	30.400	31.076	31.776	32.490
Hacinamiento	Hab/vivienda	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
Población	Habitantes	124.920	127.731	130.605	133.544	136.548	139.621	142.762	145.974	149.258	152.616	156.050	159.561	163.151	166.822	170.575
Dotación	l/h/d	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
% Aportación	%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%	85%
Flujo aportado	lps	307.2	314.2	321.2	328.3	335.7	343.3	351.0	358.9	366.9	375.5	385.0	392.0	401.0	410.0	419.0
Flujo Total	lps	307.2	314.2	321.2	328.4	335.8	343.4	351.0	358.9	366.9	375.5	385.0	392.0	401.0	410.0	419.0

5.2. DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE REACTOR BIOLÓGICO.

I. Datos de alimentación inicial.

- 1) $Q_F = 0.419 \text{ m}^3/\text{s} = 35,447.4 \text{ m}^3/\text{día}$
- 2) $S_F = 300 \text{ mg DBO/l}$
- 3) $X_{V,F} = 0$ Los sólidos volátiles en la alimentación inicial se consideran mínimas, por lo que se pueden considerar como cero.
- 4) $C_{alc} = 50 \text{ mg/l}$ de CaCO_3 o equivalente [ALK].
- 5) $N_{kje} = 60 \text{ mg/l}$ nitrógeno total Kjendal [TKN]
 $P = 10 \text{ mg/l}$ Fosforo total
- 6) T_F es la temperatura de alimentación inicial a las condiciones de las estaciones críticas, verano e invierno.
 $T_{veran} = 25 \text{ °C}$
 $T_{inve} = 13 \text{ °C}$

II. Datos de la calidad requerida en el efluente

- 1) $S_e = 30 \text{ mg DBO/l}$ Es el S_e máximo permisible, y es un valor tomado de la norma oficial NOM-001-SEMARNAT-1996, tabla 2 parte A y que se localiza en el Anexo III.
- 2) $X_{V,e} = 15 \text{ mg/l}$ son los VSS en el efluente final (VSS: sólidos volátiles en suspensión).
 $X_{NV,e} = 0 \text{ mg/l}$ son los NVSS en el efluente final

Los sólidos en suspensión en el efluente $X_{V,e}$ y $X_{NV,e}$, se proponen en base a las condiciones que se requiere el efluente en el clarificador secundario. El valor de $X_{V,e}$ es de acuerdo al parámetro sólidos suspendidos totales del norma NOM-001- SEMARNAT -1996.

III. Datos básicos para el diseño del reactor.

1) $X_{V,O}$ es una variable que se especifica para el diseño⁴ y se encuentra en el rango de 2,000 a 3,000 mg/l.

$$X_{V,a} = 3,000 \text{ mg/l} \quad \text{MLVSS en el reactor.}$$

$$X_{V,u} = 12,000 \text{ mg/l} \quad \text{VSS en la descarga del clarificador secundario.}$$

2) Establecer como base de diseño para la fracción de sólidos volátiles en el reactor F_V es también un porcentaje de sólidos volátiles en los sólidos en suspensión del licor mezclado, los porcentajes recomendados están en el rango de $0.8 < F_V < 0.9$.

$$F_V = 0.85 = 85\%$$

3) Temperatura ambiente (T_a).

$$T_{\text{veran}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{inviern}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

4) Parámetros biocinéticos, valores típicos para aguas residuales domésticas^{3,4}

$$k = 0.0235 \text{ l/mg d}^{-1}$$

$$Y = 0.7300 \text{ Kg MLVSS/Kg DBO}_5 \text{ consumida}$$

$$k_d = 0.0750 \text{ d}^{-1}$$

$$a = 0.5200 \text{ Kg O}_2/\text{kg DBO}_5 \text{ consumida}$$

$$\theta = 1.0150 \quad \text{para } k \quad 1.0 < \theta < 1.135 \quad k, \text{ es coeficiente de la ecuación de Arrhenius}$$

$$\theta = 1.0400 \quad \text{para } k_d \text{ y } b \quad 1.03 < \theta < 1.06$$

$$b = 0.1065 \text{ d}^{-1} \quad \text{si } b/k_d = 1.42 \quad b = k_d \times 1.42$$

⁴ R. S. Ramalho.; "Tratamiento de Aguas Residuales"

^{3,4} Industrial Water Pollution Control, W.Wesley Eckenfelder, Jr., R. S. Ramalho.; "Tratamiento de Aguas Residuales"

5) Considerar la siguiente figura (5-1) obtenida experimentalmente⁴ para las características de sedimentación:

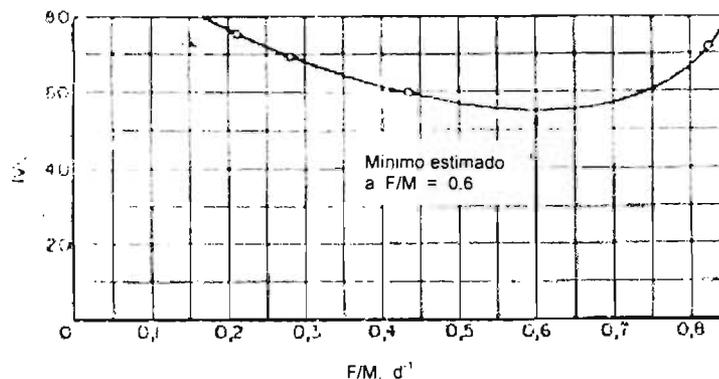


FIGURA 5-1. REPRESENTACIÓN DE IVL EN FUNCIÓN DE F/M.

como se puede observar el mínimo estimado para $F/M = 0.6$

IV información para la selección y disposición de aireadores.

1) Características de los aireadores.

Para determinar las características se deben de establecer las siguientes correlaciones:

a) correlaciones entre él $(ET)_{ref}$, que equivale a los Kg de oxígeno transferidos al agua corriente a condiciones de referencia (20°C y 760 mm de Hg, con OD igual a cero en el inicio) por $(HP \times hora)$ y Pv que es la potencia en HP por m³ de líquido en el tanque. b) correlación entre potencia específica y diámetro de influencia para sólidos en suspensión (m).

De acuerdo a la siguiente figura, 5-2, para aireadores de superficie, donde se incluye la correlación $(ET)_{ref}$ y potencia específica (Pv) y entre la potencia de la unidad y el diámetro de influencia (en metros), utilizando la siguiente ecuación para verano e invierno:

$$(ET)_{real} = (ET)_{ref} \{ \alpha_{20^{\circ}C} * 1.024^{(T-20)} * ((\beta \cdot C_{S,S} - C_L) / 9.2) \}$$

⁴ R. S. Ramalho.; "Tratamiento de Aguas Residuales"

donde $C_{s,s}$: concentración saturada en la superficie

$$T_{w \text{ verano}} = 26$$

$$T_{w \text{ invierno}} = 11$$

Para Verano:

$$T - 20 = \Delta T = 26 - 20 = 6$$

$$1.024^{(T-20)} = 1.16$$

para $C_{s,s}$: $C_{s,s} = (C_{s,s})_{760} * \{(P-P^v)/(760-P^v)\}$

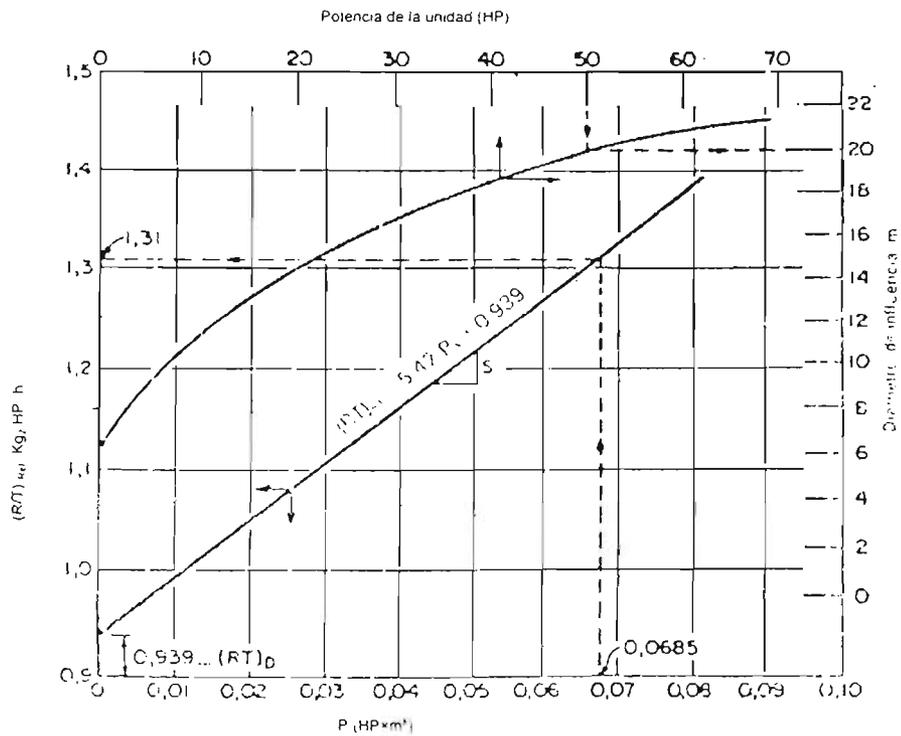


FIGURA 5-2. CARACTERÍSTICAS DE AERADORES DE SUPERFICIE.

$P = 755$ mm Hg presión media del lugar de la instalación (la establece el diseñador).

$P^v = 24$ mm Hg valor obtenido de la tabla 5-4 de acuerdo a la temperatura T_w .

$C_{s,s} = 8.3$ mg/l valor obtenido de la tabla 5-3 de acuerdo a la temperatura T_w .

$$P - P^v = 755 - 24 = 731$$

$$760 - P^v = 760 - 24 = 736$$

$$C_{s,s} = 8.24 \text{ mg/l}$$

$$C_{s,w} = \beta \times C_{s,s} = 8 \text{ mg/l}$$

$$C_L = 1.5$$

Calculando el término entre corchetes:

$$K_{\text{verano}} = 0.709$$

Para Invierno:

$$T - 20 = \Delta T = 11.7 - 20 = -8.83$$

$$1.024^{(T-20)} = 0.811$$

Para $C_{s,s}$: $C_{s,s} = (C_{s,s})_{760} \times \{(P - P^v) / (760 - P^v)\}$

$P = 755$ mm Hg presión media del lugar de la instalación (la establece el diseñador).

$P^v = 9.7$ mm Hg valor obtenido de la tabla 5-4 de acuerdo a la temperatura T_w .

$C_{s,s} = 11.15$ mg/l valor obtenido de la tabla 5-3 de acuerdo a la temperatura T_w .

$$P - P^v = 755 - 9.7 = 745.3$$

$$760 - P^v = 760 - 9.7 = 750.3$$

$$C_{s,s} = 11.08 \text{ mg/l}$$

$$C_{s,w} = \beta \times C_{s,s} = 10.74 \text{ mg/l}$$

$$C_L = 1.5$$

Calculando el término entre corchetes:

$$K_{\text{invierno}} = 0.709$$

TABLA 5-6. VALORES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO PARA AGUA DESTILADA EN CONDICIONES NORMALES (1 Atm).

Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l)
0	14.6
5	12.8
10	11.3
15	10.2
20	9.2
25	8.4
30	7.6
35	7.1
40	6.6

TABLA 5-7. PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA.

Temperatura (°C)	P (mm Hg)
0	4.58
5	6.54
10	9.21
15	12.8
20	17.5
25	23.8
30	31.8
35	42.2
40	55.3

Comparando las K 's de verano e invierno se puede observar que las condiciones de verano e invierno se encuentran en equilibrio por lo que la especificación de los aireadores no se ven controlados por ninguna estación, dado que K_{ver} y K_{inv} son iguales.

Estableciendo un valor de P_v ; potencia específica, en HP/m³ de tanque⁴, se considera lo siguiente:

- 1.- Para unidades de lodo activo convencionales: $0.05 < P_v < 0.08$.
- 2.- Para unidades de aireación prolongada: $0.027 < P_v < 0.05$.
- 3.- Para lagunas aireadas: $0.001 < P_v < 0.007$.

Entonces: $P_v = 0.060$ HP/m³, ya que se esta considerando un sistema como el de la primera opción (unidad de lodo convencional).

Utilizando la figura 4.7 y la siguiente ecuación $(ET)_{ref} = 5.4 P_v + 0.939$

$$(ET)_{ref} = 1.26 \text{ Kg O}_2/\text{HP h}$$

Aplicando la siguiente ecuación para el verano:

$$(ET)_{real} = K * (ET)_{ref} = 0.902 \text{ Kg O}_2/\text{HP h}$$

Y para el invierno:

$$(ET)_{real} = K * (ET)_{ref} = 0.886 \text{ Kg O}_2/\text{HP h}$$

2) Diseño del nivel de OD (C_L)

Cuando la velocidad de transferencia de oxígeno se mantiene constante, se define como C_L . Para procesos aerobios en continuo, diseñados para eliminar materia orgánica el intervalo para operar con niveles constantes de oxígeno disuelto C_L , está comprendido entre 0.5 y 1.5 mg/l.

$$C_L = 1.5 \text{ mg/l}$$

⁴ R. S. Ramalho : "Tratamiento de Aguas Residuales

3) Establecimiento de α y β .

β Es la relación de C_s que es el valor de la concentración en la saturación del oxígeno disuelto (mg/l) 755 mm Hg para el agua destilada y en función de la temperatura, y de $C_{s,r}$ concentración de oxígeno disuelto en condiciones de saturación. Esta relación ha sido determinada experimentalmente⁴, encontrándose que para la mayoría de los casos de β se encuentra en un rango de 0.92 a 0.98.

$\beta = 1$ a una presión media de 755 mm Hg.

α . es la relación del coeficiente de transferencia de oxígeno representado por K_L , en donde se considera a condiciones reales y a condiciones de referencia, esta relación normalmente es menor de 1, ya que conforme el agua se aproxima a la pureza del agua corriente va creciendo hasta la unidad, esto es al aumentar el proceso de oxidación.

Por otro lado, cuando las aguas residuales contienen agentes tensoactivos como ácidos grasos y alcoholes. Estos compuestos tienen un grupo polar (carboxilo para los ácidos e hidroxilos para los alcoholes) y una cadena HC no polar. Los grupos polares son hidrofílicos y la cadena HC es hidrófoba. Se supone que los agentes tensoactivos se concentran en la interfase de la película de líquido y sus cadenas HC dentro de la fase gas; esta concentración de moléculas en la película de líquido retrasa el proceso de difusión de oxígeno. El resultado de la disminución de la transferencia de oxígeno al agua residual en comparación con el agua corriente los valores de α generalmente son menores que 1. Sin embargo, la intensidad de mezcla determina que α sea mayor a la unidad, por lo que α se le considera en este problema como:

$$\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0.87$$

⁴ R. S. Ramalho : "Tratamiento de Aguas Residuales

V. Planteamiento.

PASO 1: Cálculo de los Kg de DBO5 consumidos diariamente con los valores iniciales.

$$\text{Kg DBO}/\text{día} = 86.4 \times 31708.8 \times (300 - 30) = 8,559.0 \text{ Kg/día}$$

PASO 2: Estimación preliminar de la potencia.

Utilizando la siguiente ecuación, la cual tiene un factor f con un rango de 20-22, asignando arbitrariamente un factor intermedio del rango igual a 21.

$$\text{HP} = (86.4 \times Q_F \times (S_F - S_e)) / f = 408$$

Como la potencia calculada preliminarmente es de 408, diferente de la obtenida en el paso 8 de 298 HP, se efectúa una iteración utilizando la potencia del paso 8 y sustituyéndola en el paso 3 hasta que la potencia utilizada en el paso 2 sea igual a la obtenida en el paso 8. En la primera iteración se obtuvo una potencia de 298 HP.

En la segunda iteración la potencia obtenida en el paso 8 es de 298 HP, que es igual a la del párrafo anterior, por lo tanto esta es la potencia que se utilizará para los siguientes pasos del procedimiento, complementar el paso número 8 y los subsiguientes.

PASO 3: Estimación de la temperatura T_w .

La estimación de la temperatura T_w que corresponde a la temperatura del agua residual en el reactor y que persigue el objetivo de corregir la constante k , esta constante se toma de valores típicos y por tanto se debe de llevar a las condiciones de operación que comprenda las condiciones climatológicas de verano e invierno. Utilizando la siguiente ecuación:

$$T_w = \{((3.6 \times 10^6 \times Q_F \times 5T_F) + (1134 \times \text{HP} \times T_a)) / ((3.6 \times 10^6 \times Q_F) + (1134 \times \text{HP}))\}$$

El número 1134 esta dado en kcal/HP h °C y es la cantidad liberada por 1 HP en una hora para un cambio de 1°C de temperatura.

$$T_w \text{ para el verano } T_w = 26$$

$$T_w \text{ para el invierno } T_w = 11$$

PASO 4: Estimación de los parámetros biocinéticos a las T_w de verano e invierno.

1) Para calcular k a la temperatura corregida T_w se utilizará la siguiente ecuación debido a que la constante de velocidad biocinética k se duplica al aumentar la temperatura en 10°C.

Para verano: $T_w = 26$

$$k_{T_w} = k_{20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.0257 \text{ d}^{-1} \times \text{l/mg} = 0.0011 \text{ h}^{-1} \times \text{l/mg}$$

Para invierno: $T_w = 11$

$$k_{T_w} = k_{20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.0206 \text{ d}^{-1} \times \text{l/mg} = 0.0009 \text{ h}^{-1} \times \text{l/mg}$$

2) Para calcular el coeficiente de descomposición microbiana k_d , dentro de los márgenes normales de temperatura de operación, para lo cual se utilizara la siguiente ecuación:

Para verano: $T_w = 26$

$$k_{d,T_w} = k_{d,20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.09497 \text{ d}^{-1} = 0.0040 \text{ h}^{-1}$$

Para invierno: $T_w = 11$

$$k_{d,T_w} = k_{d,20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.05304 \text{ d}^{-1} = 0.0022 \text{ h}^{-1}$$

3) Dada la relación entre b y k_d y, de acuerdo a la ecuación (40) se puede calcular b que está definida como kilogramos de oxígeno utilizado por día por kilogramo de $MLVSS$ en el reactor, por tanto la ecuación es:

Para verano: $T_w = 26$

$$b_{T_w} = b_{20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.1349 \text{ d}^{-1} = 0.0056 \text{ h}^{-1}$$

Para invierno: $T_w = 11$

$$b_{T_w} = b_{20^\circ\text{C}} \times \theta^{(T_w - 20)} = 0.0753 \text{ d}^{-1} = 0.0031 \text{ h}^{-1}$$

Los parámetros Y y a se pueden considerar independientes de la temperatura, por tanto

$$Y = 0.7 \text{ Kg MLVSS/ Kg DBO}_r$$

$$a = 0.5 \text{ Kg O}_2/\text{ Kg DBO}_r$$

PASO 5: Cálculo del tiempo de residencia.

Caso 1: El cálculo se efectuará a partir de la DBO soluble en condiciones de invierno, esto se debe a que la calidad del efluente depende de la DBO soluble.

$$t = ((S_F - S_e) / (k \times X_{V,a} \times S_e)) = 3.49 \text{ h} = 0.15 \text{ día}$$

Caso 2: Si se consideran las condiciones óptimas de floculación de los *MLVSS* figura 5-1 la relación $(F/M)_{opt} = 0.6 \text{ día}^{-1}$ y t se calcula como:

$$t = S_F / (X_{V,a} \times (F/M)_{opt}) = 0.17 \text{ día} = 0.007 \text{ h}$$

Utilizando el tiempo de residencia 3.49 horas, se verificara si el lodo que se obtenga tiene características de sedimentación satisfactorias.

2) Calculando la relación actual de F/M se obtiene

$$(F/M) = S_F / (X_{V,a} \times t) = 0.69$$

Observando la figura 5-1 se puede decir que las características de sedimentación de las VSS son satisfactorias, ya que en esa zona la curva es relativamente plana y el valor de (F/M) es 0.69 próximo a 0.6 por lo que el tiempo de residencia que se utilizará para dimensionar el reactor será el de 3.49 h. Además, los valores obtenidos, de acuerdo a Ramalho⁽⁴⁾ figura 5.11 caen dentro del intervalo óptimo de decantación, más el valor de (F/M) que se acerca a la relación óptima de F/M ($F/M = 0.69 \text{ d}^{-1}$).

3) Cálculo de S_e en las condiciones de verano, para invierno al tiempo de residencia es 3.49 h y el S_e es de 30 mg/l.

$$S_e = S_F / (1 + k \times X_{V,a} \times t) = 24.54 \text{ mg/l}$$

$$k = 0.0011$$

$$t = 3.49$$

El diseño resulta adecuado en las condiciones críticas climáticas, por lo que el requisito de obtener una DBO_5 máxima soluble de 30 mg/l se cumple, ya que para las condiciones de verano se obtiene 24.54 mg/l.

PASO 6: Cálculo del volumen del reactor.

$$V = Q_F \times t = 4,616.0 \text{ m}^3 \text{ (el volumen es por día)}$$

PASO 7: Cálculo de la demanda de oxígeno en condiciones de verano con $S_e = 24.54$

$$\text{Kg O}_2/d = (a \times (S_F - S_e) \times Q_F) + (b \times X_{V,a} \times V)$$

El primer término del segundo miembro de la ecuación anterior se supone que la densidad de las aguas residuales típicas se supone que es igual a la del agua (s Kg/l), y es equivalente a p.p.m., entonces este término se escribe como $(86.4 \times a \times (S_F - S_e) \times Q_F)$ y por tanto para el segundo término el factor es 1×10^{-3} .

$$a = 0.5$$

$$(S_F - S_e) = 275.46$$

$$Q_F = 0.3$$

$$b \times X_{V,a} \times V = 1867.33$$

$$\text{Kg O}_2/\text{día} = 6,408.1 \text{ Kg/día} = 267.0 \text{ Kg/h}$$

Para condiciones de invierno

$$a = 0.5$$

$$(S_F - S_e) = 270.0$$

$$Q_F = 0.4$$

$$b \times X_{V,a} \times V = 1,042.9$$

$$\text{Kg O}_2/d = 5,493.6 \text{ Kg/d} = 228.9 \text{ Kg/h}$$

Como se esperaba las condiciones de verano controlan las necesidades de oxígeno.

PASO 8: Cálculo de la potencia requerida en la aireación.

$$HP = \text{Kg O}_2/\text{h} / \{(ET)_{real} \text{ Kg O}_2/\text{h} / (HP \times h)\}$$

Para el cálculo de $(ET)_{real}$ revisar los datos básicos del paso III.1).

$$(ET)_{real} = 0.896 \text{ Kg O}_2/\text{HP h}$$

El resultado es 298 HP.

Recalculando P_v como $P_v = \text{Potencia}/V_{reactor}$.

$$\text{Tenemos } P_v = 0.065$$

El valor entre P_v propuesto 0.060 y P_v obtenido 0.065 se considera aceptable de acuerdo a los valores reportados en la práctica.

Con la P_v recalculada se seleccionan los aireadores de acuerdo con la figura 5-2 los cuales tendrán una potencia, cada uno, de 49 HP.

$$\text{No. de aireadores} = \text{HP} / 49 \text{ HP}$$

$$\text{No. de aireadores} = 298.0 / 49$$

$$\text{No. de aireadores} = 6$$

De acuerdo a la potencia de cada aireador de 49 HP en la figura 5-2, se obtiene el diámetro de influencia, que es de 19 m.

Procediendo a considerar un factor de seguridad, normalmente es de 20 % y denotándose como d .

$$d = 16 \text{ m}$$

después se procede a obtener la superficie ocupada como:

$$\text{Superficie} = (\text{longitud}) (\text{ancho})$$

$$\text{Superficie} = (3d) (2d) = 6 d^2$$

$$\text{Superficie} = 6 \times 251$$

$$\text{Superficie} = 1,504.0 \text{ m}^2$$

Para invierno:

$$r = 0.31 = 31.4\%$$

La relación de reciclo es muy similar por lo que en el balance de materia se utilizará como valor único, $r = 0.32$

$$r = X_{V,a} / (X_{V,u} - X_{V,a}) = 0.33$$

PASO 11: Calculando los flujos restantes, Q_R , Q_o y Q_w :

$$Q_R = r \times Q_F = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = Q_F \times (r+1) = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_w = \{ \Delta X_V + (Q_F \times X_{V,F}) - (Q_F X_{V,e}) \} / (X_{V,u} - X_{V,e})$$

Para verano:

$$\Delta X_V = 5,060.0$$

$$(Q_F \times X_{V,F}) = 0$$

$$(Q_F X_{V,e}) = 475.5$$

$$(X_{V,u} - X_{V,e}) = 11.99$$

$$Q_w = 382 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_w = 0.004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para invierno:

$$\Delta X_V = 5,514.0$$

$$(Q_F \times X_{V,F}) = 0$$

$$(Q_F X_{V,e}) = 475.5$$

$$(X_{V,u} - X_{V,e}) = 11.99$$

$$Q_w = 420 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_w = 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$$

Comparando los valores de Q_w obtenidos y el flujo inicial de $0.3669 \text{ m}^3/\text{s}$; indica que la mayor parte de la alimentación inicial sale con el efluente del clarificador secundario. Por lo tanto, para completar las corrientes del sistema se considerara el valor de 0.009.

$$Q_e = Q_F - Q_w = 0.3619 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_u = Q_o - Q_e = 0.1381 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{ó}$$

$$Q_u = Q_R - Q_w = 0.1381 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_h = t / (r+1) = 2.66 \text{ h}$$

PASO 12: Balance de materia para los sólidos no volátiles.

1. Cálculo de $X_{NV,a}$:

$$X_{NV,a} = (1 - F_v) \times X_{V,a} / F_v = 529 \text{ mg/l}$$

y si $X_{NV,o} = X_{NV,a} = 529 \text{ mg/l}$

2. Cálculo de $X_{NV,u}$ ya que $X_{NV,e}$ es aproximadamente igual a 0, utilizando la siguiente ecuación.

$$X_{NV,u} = QF \times (r + 1)X_{NV,a} / Q_u$$

$$X_{NV,u} = 2,117.9 \text{ mg/l}$$

3. Cálculo de $X_{NV,F}$, utilizando la siguiente ecuación.

$$X_{NV,F} = (r + 1)X_{NV,a} - r X_{NV,u}$$

$$X_{NV,F} = 28 \text{ mg/l}$$

PASO 13: Producción total de lodos

1. Cálculo de $(VSS)_W$ con la siguiente ecuación

$$(VSS)_W = Q_W \times X_{V,u} = \Delta X_V + Q_F \times X_{V,F} - (Q_e \times X_{V,e})$$

Para el verano

$$(VSS)_W = 4,590.4 \text{ kg/d}$$

Para invierno

$$(VSS)_W = 5,044.5 \text{ Kg/d}$$

2. Cálculo de $(NVSS)_W$ con la siguiente ecuación

$$(NVSS)_W = Q_W \times X_{NV,u} = Q_F \times X_{V,F}$$

$$(NVSS)_W = Q_F \times X_{V,F}$$

$$(NVSS)_W = 890 \text{ Kg/d}$$

Utilizando los otros términos de la ecuación, se tiene

$$(NVSS)_W = Q_W \times X_{NV,u}$$

$$(NVSS)_W = 890$$

Como se puede observar no existe ninguna variación, comprobándose hasta el momento que se lleva ruta aceptable de cálculo.

2. Cálculo de $(TSS)_W$ con la siguiente ecuación

$$(TSS)_W = (VSS)_W \times (NVSS)_W$$

Para verano $(TSS)_W = 5,480.66 \text{ Kg/d}$

Para invierno: $(TSS)_W = 5,934.78 \text{ Kg/d}$

PASO 14: Cálculo de las concentraciones de la alimentación combinada S_o , utilizando las siguientes ecuaciones, para cada uno de los siguientes puntos.

$$1. S_o: S_o = (S_F + r S_e) / (1 + r)$$

Para el verano: $S_o = 228 \text{ mg/l}$

Para el invierno: $S_o = 235 \text{ mg/l}$

$$2. X_{V,o}: X_{V,o} = (X_{V,F} + r X_{V,u}) / (1 + r)$$

$$X_{V,o} = 3,787.19/1.32$$

$$X_{V,o} = 2,878.68 \text{ mg/l}$$

PASO 15: Neutralización requerida.

Kg de DBO consumida/día = 8,559.0 Kg de DBO / día

$$\text{alcalin consumida} = 8.559.0 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \frac{\text{DBO}}{\text{Kg}} \times 0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \frac{\text{alcal}}{\text{DBO}} = 4.279.52 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

La masa de DBO se multiplica por 0.5 debido a que la actividad óptima de las bacterias presenta valores del pH comprendidos entre 6 y 8. Por lo que deberá de comprobarse si se requiere neutralización previa al tratamiento biológico. Generalmente en las aguas residuales alcalinas se toma como "Regla General" que se consume hasta 0.5 Kg de alcalinidad (como CaCO_3) por Kg de DBO_5 asimilada.

Esto se debe a que el CO_2 producido en la degradación bacteriana reacciona con los OH^- presentes en el agua residual para formar bicarbonato (HCO_3^-) que hace de tampón del sistema a un pH de aproximadamente 8. Razón por la cual en ciertas aguas residuales alcalinas el tratamiento de neutralización previo al biológico puede resultar innecesario.

Calculando la alcalinidad en la alimentación inicial, se tiene:

$$ALC_{inicial} = 86.4 * Q_F * ALC = 1,585.01 \text{ Kg/d} \quad 86.4 = \text{factor de conversión.}$$

Comparando la alcalinidad en la alimentación inicial y la alcalinidad consumida se puede observar que

$$1,585.01 < 4,279.52$$

por lo que no se requiere neutralización previa al proceso biológico.

PASO 16: Cálculo de los nutrientes requeridos.

Para que se efectúe la degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales se necesita una cantidad adecuada de nutrientes para que se realice bajo condiciones aerobias. Estos nutrientes necesarios son nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y vitaminas. La mayoría de estos nutrientes sólo se requieren en cantidades muy pequeñas y normalmente se encuentran en las aguas residuales. Generalmente las aguas deficientes en estos nutrientes son las aguas residuales industriales. Las cantidades requeridas de nitrógeno y fósforo se estiman mediante el siguiente procedimiento.

La estimación de las necesidades de nitrógeno y fósforo se basa en el hecho de que los *MLVSS* purgados (ΔX_V Kg/d) contienen aproximadamente el 2 % de su peso seco como fósforo y el 12% como nitrógeno. La estimación de los pesos de nitrógeno y fósforo añadido comprende:

1. Pesos de los nutrientes que se pierden por purga de *MLVSS*, para él:

$$\text{Nitrógeno: } 0.12 \times \Delta X_V \text{ Kg / día}$$

$$\text{Fósforo: } 0.02 \times \Delta X_V \text{ Kg / día}$$

2. Peso de los nutrientes que se pierden en el efluente (efluente total) = $Q_e + Q_W = Q_F$

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo solubles presentes en el efluente se estiman iguales a 1.0 y a 0.5 respectivamente, de acuerdo a criterios de Ramhalo⁴. Por lo tanto, la pérdida de estos nutrientes en el efluente se calculan como se indica a continuación:

$$\text{Nitrógeno: } 86.4 \times Q_F \times (1.0) \text{ Kg/día}$$

$$\text{Fósforo: } 86.4 \times Q_F \times (0.5) \text{ Kg/día}$$

donde Q_F tiene unidades de m³/s. Entonces las necesidades totales de nitrógeno y de fósforo están dadas por las sumas de las estimaciones anteriores, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Nitrógeno: } 0.12 \times \Delta X_V + (Q_F \times 1.0 \times 86.4 \text{ Kg/día})$$

$$\text{Fósforo: } 0.02 \times \Delta X_V + (Q_F \times 0.5 \times 86.4 \text{ Kg/día})$$

La cantidad de nitrógeno y fósforo total en la alimentación inicial se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Nitrógeno disponible: } 86.4 \times Q_F \times N_{k_{je}} \text{ Kg/día}$$

donde $N_{k_{je}}$ es el nitrógeno total Kjeldahl en la alimentación inicial.

$$\text{Fósforo disponible: } 86.4 \times Q_F \times P \text{ Kg/día}$$

Donde, P es el fósforo en la alimentación inicial (mg/l como P). Si las cantidades de N y P disponibles son mayores que las requeridas, no se necesita adición. Por el contrario, la adición de las cantidades en déficit debe hacerse bajo la forma de cantidades calculadas de soluciones adecuadas e introducirlas en el reactor biológico. En los sistemas de lodos activos, las necesidades de nitrógeno y fósforo se cubren mediante la adición de NH_3 anhidro o acuoso de PO_4NH_3 .

Nitrógeno

1. Nitrógeno perdido en el sistema por la purga de lodos:

$$\text{Condiciones de verano: } 0.12 \times \Delta X_V = 607 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Condiciones de invierno: } 0.12 \times \Delta X_V = 662 \text{ Kg/día}$$

2. Nitrógeno perdido en el efluente:

$$86.4 \times Q_F \times 1.0 = 32 \text{ Kg/día}$$

Nitrógeno total perdido en el sistema para:

$$\text{Verano} = 607 + 32 = 639 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Invierno} = 662 + 32 = 693 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Nitrógeno disponible: } 86.4 \times Q_F \times (N_{kje}) = 1,902.01 \text{ Kg/día}$$

Como se puede observar el nitrógeno disponible se encuentra en una cantidad superior a la que puede perder el sistema en las dos estaciones del año consideradas y por tanto no se requerirá añadir más nitrógeno.

Fósforo

1. Cálculo del fósforo perdido en el sistema mediante la purga de lodos:

$$\text{Para verano: } 0.02 \Delta X_V = 0.02 * 5,060 = 101 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Para invierno: } 0.02 \Delta X_V = 0.02 * 5,514 = 110.3 \text{ Kg/día}$$

2. Fósforo perdido en el efluente:

$$86.4 * Q_F * 0.5 = 16 \text{ Kg/día}$$

Fósforo total perdido en el sistema:

$$\text{Verano} = 101 + 16 = 117 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Invierno} = 110.3 + 16 = 126.12 \text{ Kg/día}$$

Fósforo disponible en el sistema:

$$86.4 \times Q_F \times (P) = 317 \text{ Kg/d}$$

De acuerdo a la cantidad de fósforo disponible en el sistema, se puede determinar que no es necesario adicionar más fósforo, ya que existe más del que se pierde por el sistema.

PASO 17: Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (*DBO*) total en el efluente, utilizando la siguiente ecuación:

$$DBO_{\text{total del efluente}} = S_e + (\psi \times X_{V,e})$$

utilizando la figura 5-3, con el valor de $F/M = 0.69$ se tiene un valor para ψ de y sustituyendo en la ecuación anterior

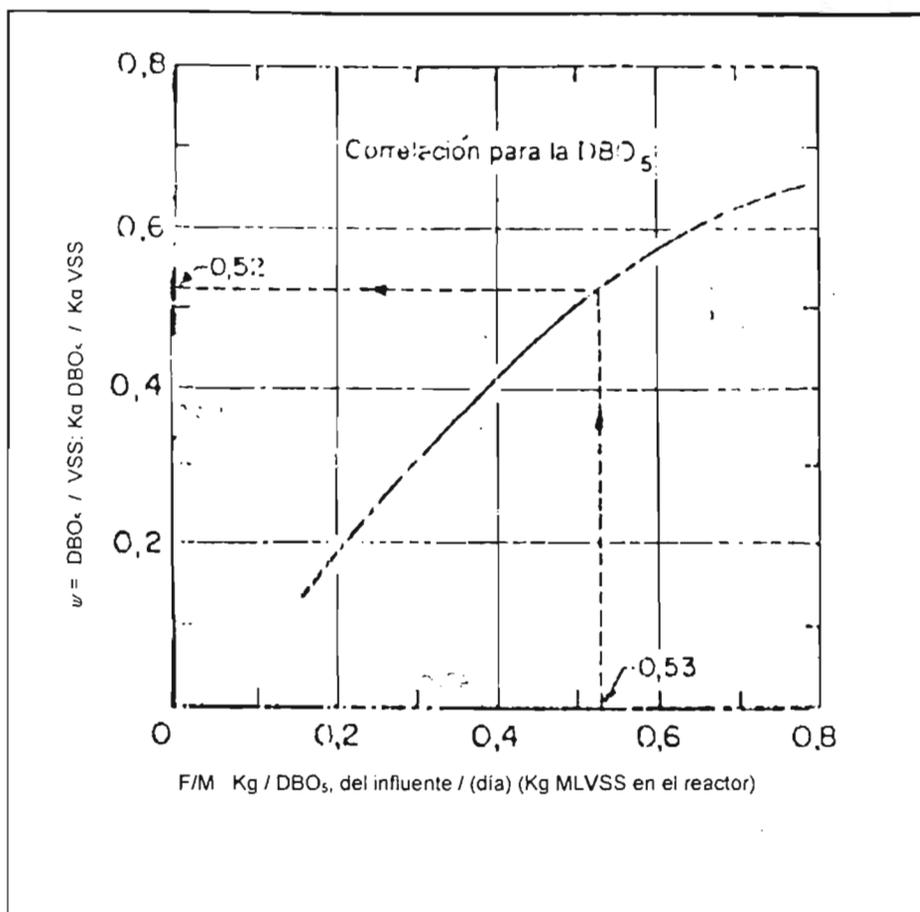


FIGURA 5-3. CORRELACIÓN DE ψ EN FUNCIÓN DE F/M .

Para verano:

$$\text{DBO}_{\text{total del efluente}} = 30 + (0,69 \times 15) = 40 \text{ mg/l}$$

Para invierno:

$$\text{DBO}_{\text{total del efluente}} = 24,5 + (0,69 \times 15) = 35 \text{ mg/l}$$

5.3. PREDIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO Y ACCESORIOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

5.3.1. UNIDAD DE CRIBADO.

La unidad de tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo tratar las aguas domésticas de poblaciones no mayores a los 100 mil habitantes, tomando como características de calidad las referidas en la norma oficial NOM-001-SEMARNAT-1996, donde se indican los parámetros y sus concentraciones, mismos que se podrán consultar en las tablas de la norma y los Criterios de la DGCOH en Anexo II.

Debido a que el sistema no se está especificando para que tipo de área se implementará, esta puede ser del tipo subrural o suburbana y pudiera ser incluso urbana, lo que implica que el agua residual contenga sólidos de gran tamaño o basura, por lo que se aplicará un tratamiento previo y evitar problemas subsecuentes.

El tratamiento preliminar consistirá de cribado de gruesos y desarenador. El cribado de gruesos tiene como objetivo reducir el contenido de los sólidos y basura que puedan ocasionar problemas el funcionamiento de los equipos subsiguientes como bombas, válvulas, aereadores mecánicos, etc.

La rejilla de criba será del tipo "criba de barras", debido a su construcción sencilla y de fácil limpieza. La limpieza se efectuará en forma manual, que es lo más recomendable por la experiencia que se ha tenido en plantas que actualmente están en funcionamiento.

La criba de barras consistirá de barras de acero inclinadas a 30° con respecto a la horizontal, las cuales estarán espaciadas a intervalos iguales e irán soldadas a un marco del mismo material. Esta criba de barras será colocada en la sección transversal del canal de cribado para retener los sólidos y basuras flotantes presentes en el agua residual que servirá como alimentación al reactor biológico.

El volumen de cribado grueso puede variar significativamente de lugar, ya que es un parámetro difícil de evaluar sin datos de operación. La cantidad de sólidos retenidos es función de la abertura en la criba, flujo de agua residual, tipo de sistema de colección y características de cada comunidad en particular. Por tanto debido a la falta de datos reales del volumen de sólidos retenidos en la rejilla de cribado, se utilizaron dos gráficas de la literatura^{5,6}, considerándose el

valor máximo reportado. A Continuación se presenta la secuencia de cálculo con las consideraciones realizadas, así como valores recomendados por fabricantes y por la misma literatura.

a) Diseño del proceso de cribado.

I. Cálculo de variables de diseño mediante ecuaciones.

1. Cálculo del ancho del canal de cribado. Para este cálculo se utilizó la ecuación de la compañía Ames Crosta Babook y es la siguiente:

TABLA 5-8. SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LA UNIDAD CRIBADO.

Símbolo	Descripción	Unidades
W	Ancho del canal	cm
B	Espesor de las barras	mm
S	Separación de las barras	mm
$F = Q_f$	Flujo máximo o de diseño	L/s
K	Constante	Adimensional
V	Velocidad máxima a través de la rejilla	m/s
D	Tirante del agua	cm
h	Pérdida de carga a través de las barras	mm
U	Velocidad corriente arriba a través de la rejilla	m/s
g	Aceleración por gravedad	m/s ²
Nb	Número de barras	Adimensional
v	Velocidad en el canal	m/s
Vr	Velocidad en las rejillas	m/s

$$W = ((B+S)/S) \times ((F \times K) / (V \times D)) \quad (1)$$

Donde:

$W = 0.6$
$B = 13 = 0.013$
$S = 40 = 0.040$
$D = ?$

$F = Q_f = 419 \text{ l/s} = 0.419 \text{ m/s}$
$K = 0.001$
$V = 0.55$

Utilizando la ecuación (1) se tiene el tirante de flujo, los datos anteriores los indica el fabricante a excepción de flujo máximo o de diseño.

$$D = ((B+S)/S) \times ((F \times K) / (V \times W)) \qquad D = 0.69$$

2. Cálculo de la pérdida de carga a través de la rejilla, considerando barras parcialmente obstruidas. Para este cálculo se utilizará la ecuación de la referencia ⁶ (5):

$$h = ((V^2 - U^2) / 2 \times g) \times (1 / 0.7) \qquad (2)$$

$$h = ?$$

$$V = 1.81.8 \text{ ft/s} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$U = 1.3 \qquad 1.3 \text{ ft/s} = 0.4 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Utilizando la ecuación (2), se obtiene

$$h = ((0.05^2 - 0.4^2) / 2 \times 9.81) \times (1/0.7) = 10.5 \text{ mm}$$

3. El cálculo del número de barras se efectuará mediante la siguiente ecuación:

$$Nb = (W+S) / (B+S) \qquad (3)$$

$$Nb = (0.6+0.4) / (0.013+0.4) = 12$$

4. Utilizando la siguiente ecuación se puede obtener la velocidad en el canal.

$$v = Q_F / (W+D) \qquad (4)$$

$$v = 0.42 \text{ m/s}$$

⁶ Technical Data Sheet ST112, Shallamatic, Hidraulically Operated Corved Bar Screen by Ames Crosta Babook

5. Mediante la siguiente ecuación se realizará el cálculo de la velocidad en las rejillas, que corresponde precisamente a la velocidad en las rejillas.

$$V_r = Q_F / ((Nb - 1) \times (S \times D)) \quad (5)$$

empleando la ecuación anterior se tiene:

$$V_r = 0.56 \text{ m/s}$$

II. En este punto se indican los criterios de diseño para la unidad de cribado. Por lo que, para el dimensionamiento de la unidad de cribado se considera la siguiente información².

- a)
- Flujo de diseño: 114 l/s
 - Espacio entre barras: 38 mm
 - Ancho del canal de cribado: 0.6 m

b) Las siguientes recomendaciones se tomaron del boletín técnico ST-112 de Ames Crosta Babook y de las referencias^{5,6}.

- La velocidad en el canal debe exceder de 0.9-1.0 m/s, el rango de valores recomendados están entre 0.3 y 0.6 m/s, lo que evita sedimentaciones de arena en el fondo.
- El espesor típico de las barras tiene un rango de 12 a 13 mm.
- El espacio entre las barras puede ser como máximo hasta de 100 mm cuando el cribado es de gruesos, la experiencia recomienda un valor promedio aproximado de 40 mm.
- Como velocidad máxima a través de las barras se recomienda un rango de 0.45 a 0.55 m/s.

² Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Dirección Técnica.

^{5,6} Manual of Practice for Water Pollution Control Wastewater, Treatment Plant Design, Water Pollution Control Federation Washington D.C., E.U.A., 1977. Technical Data Sheet ST112. Shallamatic, Hydraulically Operated Corved Bar Screen by Ames Crosta Babook.

En la siguiente tabla 5-9, se resumen los datos obtenidos, así como los valores recomendados para las diferentes variables. También se muestran datos típicos para diferentes tipos de criba en la tabla 5-10.

TABLA 5-9. RESUMEN DE RESULTADOS PARA EL SISTEMA DE CRIBADO.

Rejilla de cribado:	
Espesor de las barras (mm)	13.00
Separación de las barras (mm)	40.00
Pendiente de colocación de las barras (grados) ²	30.00
Pérdida de carga a través de las barras (mm)	10.50
Ancho del canal (cm)	60.00
Tirante del agua (cm)	0.69
Bordo libre (cm)	20.00
Limpieza	Manual
Volumen de sólidos retenidos (m ³ /h)	4.40
Masa de sólidos retenidos (Kg/h)	4,266.00

TABLA 5-10. TAMAÑO DE ABERTURAS DE CRIBA DE GRUESOS Y FINOS.

Tipo de criba	Abertura (mm)	Observaciones
Cribas de barras antes de bombas de alimentación de agua residual y cámaras de desarenado.	51 a 153	---
Cribas de barras antes de otros dispositivos o procesos	19 a 51	Aberturas de 25 mm son Ampliamente aceptadas como Satisfactorias
Trituradores	6 a 19	La abertura es una función de la capacidad hidráulica del dispositivo
Cribas fijas (estáticas)	2.3 a 6.4	Aberturas menores de 2.3 mm han sido utilizadas para pretratamiento y/o tratamiento primario.

5.3.2. UNIDAD DESARENADORA.

Una unidad desarenadora, como tratamiento preliminar, es importante para un sistema de tratamiento debido a que el agua residual lleva arena, partículas más o menos finas e incluso grava. Por lo que el sedimentador tiene por objetivo evitar sobrecargas en las unidades de tratamiento como digestores o tanques de aireación y de equipo como bombas principalmente.

El desarenador retiene partículas de un tamaño superior a 200 micras. La cantidad de arena colectada por las cámaras de desarenación varía de un lugar a otro y es función también de la topografía, la cubierta superficial, tamaño del interceptor y de la intensidad de las pluviales de la zona donde se ubique el sistema de tratamiento.

El mantenimiento de este tipo de unidades, puede ser manual, considerando si se trata de un sistema relativamente pequeño, con un gasto alrededor de 100 l/s. Para estos casos, los sólidos acumulados se remueven de canales vacíos en forma manual. Para almacenar los sólidos es necesario considerar una tolva para cada canal, por lo que también se realizará el cálculo de este equipo en el siguiente procedimiento.

a) Diseño del proceso de desarenado

Criterios de diseño.

En el diseño de un canal desarenador se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Se diseña para un gasto máximo (Q_{max}).
- La velocidad en el canal debe estar en el rango de 0.2 a 0.4 m/s
- Para controlar la velocidad en el canal es conveniente poner un dispositivo de regulación de flujo al final del canal, tal como un vertedor o medidos Parshall o algún otro.

A continuación se enuncian las ecuaciones básicas para el diseño de la unidad de desarenación y en la tabla 5-11 se indica la simbología de las variables de las ecuaciones.

1) Área superficial para el 100% de remoción

$$A_s = (Q_{max}) / (V_s \times 1,000.0) \quad (6)$$

2) Área superficial corregida para la eficiencia requerida

$$A_{sc} = (A_s \times E_f) / 100 \quad (7)$$

3) Velocidad de arrastre

$$V_a = (8 \times \beta \times g \times D \times ((S-1) / f))^{1/2} / 1,000.0 \quad (8)$$

4) Área transversal

$$A_T = (Q_{max}) / (V_a \times 1,000.0) \quad (9)$$

5) Ancho del canal

$$A_c = A_T / H \quad (10)$$

6) Largo del canal

$$L_c = A_{sc} / A_c \quad (11)$$

$$T_R = (1,000.0 \times A_c \times L_c \times H) / Q_{max} \quad (12)$$

8) Velocidad en el canal

$$V_c = (Q_{max}) / (H \times A_c \times 1,000.0) \quad (13)$$

TABLA 5-11. SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LA UNIDAD DESARENADORA.

Símbolo	Descripción	Unidades
Vc	Velocidad en el canal	m/s
As	Área superficial para el 100 % de remoción	m ²
Q _{max}	Gasto máximo o de diseño	l/s
Vs	Velocidad de sedimentación para el 100% de remoción; se obtiene de la referencia (6) y (7), por lo que es necesario conocer D, S y la temperatura de operación	m/s
Asc	Área superficial corregida para la eficiencia requerida	m ²
Ef	Eficiencia requerida	%
Va	Velocidad de arrastre de la partícula	m/s
β	Parámetro, 0.50	
g	Gravedad, 9810	mm/s ²
D	Diámetro de la partícula a separar	mm
ρ _p	Densidad relativa de la partícula	
f	Coefficiente de rugosidad de Darcy, 0.3 para cemento	
A _T	Área transversal	m ²
Ac	Ancho del canal	m
H	Tirante del agua	m
Lc	Longitud del canal	m
A _R	Tiempo de retención	s
ν	Viscosidad cinemática	cm ² /s
ρ	Densidad del agua	g/cm ³
Re	Número de Reynolds	adimensional
Q _{AR}	Volumen de arena producida	l/d

Datos de predimensionamiento del sistema de lodos activados:

$$Q_{max} = 419 \text{ l/s} = 14.80 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\rho_p = 2.7$$

$$D = 0.02 \text{ cm} = 0.2 \text{ mm}$$

$$Ac = 0.6 \text{ m}$$

$$Q_{AR} = 194 \text{ l/día} = 0.0131$$

Dimensionamiento de la unidad de desarenación

1) Propiedades del agua⁹

$$\nu = 0.0101 \text{ cm}^2/\text{s a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 0.9982 \text{ g/cm}^3 \text{ a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

2) Cálculo de la velocidad de sedimentación

En base a la referencia (5) se obtiene una V_s preliminar que posteriormente se comparará:

$$V_s = 3 \text{ cm/s a } 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_s = 2.31 \text{ cm/s} = 0.0231 \text{ m/s}$$

Verificando la Ley de Stokes, para un $Re < 0.5$

$$Re = (10 \times V_s \times D) / \nu = 4.6$$

De acuerdo al valor obtenido, se revisa la referencia (6), pero antes se debe calcular el término del diámetro como se indica en el siguiente paso.

Término del diámetro = $((g \times (S-1) / \nu^2))^{1/3} \times d$, donde d es igual a D con valor de 0.02 cm.

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

$$\text{Término del diámetro} = 5.9$$

Luego revisando la referencia (6) y utilizando la ecuación de la misma, se obtiene:

$$V_s / ((g \times (S-1)) / \nu)^{1/3} = 1.0$$

$$V_s = 2.5 \text{ cm/s}$$

Como se puede observar el valor de V_s se encuentra en el rango de 2.31 y 2.54 por lo que el valor que se utilizará para el diseño será el de 2.5.

3) Cálculo del área superficial para el 100 % de remoción

$$A_s = 6.8 \text{ m}^2$$

4) Cálculo del área superficial corregida para la eficiencia requerida de 105% es decir tendrá un 5% de sobrediseño.

$$E_f = 105$$

$$A_{sc} = 7.1 \text{ m}^2$$

5) Velocidad de arrastre

$$V_a = 0.21 \text{ m/s}$$

6) Área transversal

$$A_T = 0.826 \text{ m}^2$$

7) Tirante del agua

$$A_c = 0.6 \text{ m} \quad (\text{referencia 7})$$

$$H = 1.38 \text{ m}$$

8) Largo del canal

$$L_c = 12 \text{ m}$$

9) Tiempo de retención

$$T_R = 57 \text{ s} = 2.2 \text{ min. para un canal}$$

Finalmente se obtiene el valor de θ

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$c = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$c = 0.85 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.640$$

$$\theta = 25.45^\circ$$

TABLA 5-12. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA UNIDAD DESARENADORA.

Número de unidades	2.000
Gasto máximo por canal (l/s)	419.000
Velocidad media en el canal (m/s)	0.208
Tamaño de partícula removida 100% (mm)	0.200
Densidad relativa de la partícula	2.650
Ancho del canal (m)	0.600
Profundidad del canal (m)	1.580
Borde libre (m)	0.200
Tirante del agua (m)	1.377
Longitud del canal (m)	12.000
Velocidad de sedimentación (cm/s)	2.540
Tiempo de retención (s)	57.000
Volumen de arena producida (l/d)	194.000

5.3.3. UNIDAD SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.

Dado que las aguas residuales domésticas contienen sólidos inorgánicos en suspensión, éstos deben de ser removidos antes de pasar al tratamiento biológico. Para seleccionar el tipo de sedimentador se considera la información de la DGCOH, llegándose a que el tipo de sedimentador es a gravedad, ya que solo se requiere eliminar sólidos de un tamaño regular. De igual manera se consideran criterios de diseño desarrollados por la DGCOH.

TABLA 5-13. SIMBOLOGÍA EMPLEADA EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO.

Simbolo	Descripción	Unidades
Qm	Gasto medio de diseño	L/s
Qp	Gasto medio en horas pico	L/s
CHS	Carga hidráulica por unidad de superficie	m ³ /m ² -día
t	Tiempo de retención hidráulico	h
As	Área superficial de los sedimentadores	m ²
h	Profundidad efectiva del agua	m
CSS	Carga superficial de sólidos	Kg /m ² -día
SSI	Concentración de sólidos suspendidos en el influente	mg/l
LV	Longitud de vertedores	m
CHV	Carga hidráulica sobre vertedores	m ³ /m ² -día
RSS	Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos	%
PLP	Producción de lodos primarios en masa	Kg/día
CL	Concentración de sólidos en los lodos	mg/l
VLP	Volumen de lodos primarios producidos por unidad de tiempo	m ³ / día
SEE	Sólidos suspendidos en el efluente	mg/l

Datos.

Considerando que se trata de aguas residuales de origen doméstico, se parte de tres datos básicos como son Q_m , Q_p y SSI .

1.- El gasto medio es de 514.95 l/s.

2.- El gasto pico se estima de la siguiente forma utilizando el coeficiente de Harmo a partir de la población equivalente, suponiendo una aportación media de 100 l/hab-día:

$$\text{Población equivalente} = 514.95 \text{ l/s} \times 8,640 \text{ s/día} / 100 \text{ l/hab-día} = 444,917.0 \text{ hab}$$

$$P = \text{población en miles} = 444.9$$

$$\text{Coeficiente de Harmon} = Q_p / Q_m \quad (14)$$

$$= (18 + P) / (4 + P) = 1.6$$

$$Q_p = 1.6 \times 514.95 = 802 \text{ l/s}$$

3.- La concentración de sólidos suspendidos volátiles en el influente se estiman mediante datos de plantas de tratamiento en el D.F. En el Anexo I se pueden observar los diferentes tipos de sólidos presentes en las aguas domésticas. Los sólidos suspendidos totales representan el 38% de los sólidos totales por lo que el valor de $SSl = 201.46$

Criterios de diseño.

Para desarrollar el diseño del sedimentador es necesario definir tres criterios de diseño: carga hidráulica superficial, tiempos mínimos y máximos de retención y máxima carga hidráulica sobre los vertedores.

1.- La carga hidráulica superficial a gasto medio se fija en $40.7 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{-día}$, para gastos pico se recomienda que la planta CHS no exceda de 1.2 veces la CHS a gasto medio, por lo que la planta podrá manejar gastos pico de 1.2 veces el gasto medio, esto es durante periodos relativamente largos.

2.- El tiempo de retención recomendado es de 1.5 a 3 horas, aceptándose los tiempos bajos de retención cuando el tratamiento primario es seguido de un tratamiento secundario, como es en este caso.

3.- La máxima carga hidráulica recomendada sobre los vertedores es de $248 \text{ m}^3/\text{m-día}$, cuando los vertedores se encuentran lejos de zonas de corrientes locales ascendentes, y de $186 \text{ m}^3/\text{m-día}$, si se encuentran en zonas de corrientes locales ascendentes.

Procedimiento de diseño.

Durante el procedimiento se utilizarán las ecuaciones que aparecen a continuación:

$$AS = Q_m / CHS \quad (15)$$

$$V = Q_m \times t \quad (16)$$

$$h = V / AS \quad (17)$$

$$CSS = Q_m \times SSI / AS \quad (18)$$

$$LV = Q_p / CHV \quad (19)$$

RSS es función de la *CHS*

$$PLP = Q_m \times SSI \times RSS \quad (20)$$

CL es función del tipo de lodos, para lodos primarios el *CL* se encuentra en un rango de 2.5 a 5 %, para este diseño se empleara un valor de 4%

$$VLP = PLP / (CL \times \text{densidad de los lodos}) \quad (21)$$

la densidad de lodos primarios es del orden de 1.02.

$$SSE = SSI \times (1 - RSS) \quad (22)$$

TABLA 5-14. DISTRIBUCIÓN DE SÓLIDOS EN EL INFLUENTE*.

mg/l	Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos	Sólidos totales
Sólidos fijos	147	334	481
Sólidos volátiles	223	260	483
Sólidos totales	370	594	964
En por ciento			
Sólidos fijos	15	3515	50
Sólidos volátiles	23	27	50
Sólidos totales	38	62	100

* Datos de la Planta Cerro de la Estrella

Como parte del cumplimiento es la normatividad mexicana, para los volúmenes de lodos generados, en la planta de tratamiento de aguas residuales será de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, ya que también la prioridad es estar de acuerdo con nuestra legislación mexicana.

5.3.4. DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES.

Las dimensiones físicas de las unidades se calcularon en base a tanques circulares, que es como recomienda Eckenfekder³ y Ramalho⁴, en las tablas 5-14 y 5-15, se resumen los resultados del diseño y del dimensionamiento de las unidades. El resto de las dimensiones son dimensiones mínimas, ajustables a las dimensiones comerciales inmediatas superiores. En la siguiente figura 5-5, se presenta el esquema de la unidad de sedimentación.

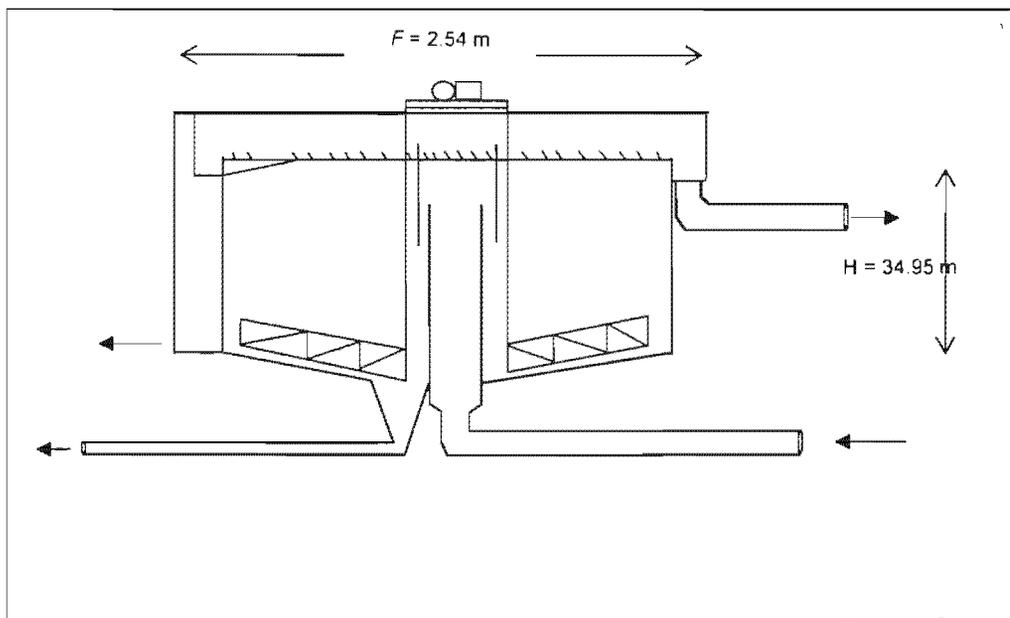


FIGURA 5-5. ESQUEMA FUNCIONAL Y DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR.

Análisis hidráulico.

El diseño hidráulico de condiciones mínimas de operación hidráulica de vertedores se presenta en esta sección, cabe aclarar que este aspecto del problema está generalmente bien estudiado por los mismos fabricantes de equipo, por lo que otras soluciones propuestas por los proveedores de equipo pueden ser también aceptables.

Con vertedores en "V" a 90° la ecuación de gasto contra carga hidráulica es la siguiente:

$$Q = 0.01381 \times h^{2.5}$$

donde: Q en l/s

$$h = \text{cm}$$

Como valor recomendado se tiene una carga hidráulica máxima de 248 m³/m-día, equivalente a con vertedores de 25 cm, para estos vertedores se recomienda 0.82 l/s y la carga para esta carga este gasto es de:

$$h = (Q / 0.01381)^{0.4}$$

$$h = 5.1 \text{ cm}$$

Con un bordo libre de 2.1 cm, la altura total del vertedor será de 7.3 cm. La apertura superior del vertedor será de 15 cm y la longitud horizontal de canaleta entre vertedores será de 12 cm.

En condiciones normales de operación, con 145 m³/m-día (1.68 l/s-m) de carga hidráulica sobre los vertedores, la altura de la carga hidráulica será:

$$Q = 1.7/4 = 0.4 \text{ l/s}$$

$$h = 3.9 \text{ cm}$$

El gasto máximo que pueden aceptar los vertedores sin desbordarse puede ser calculado con la misma ecuación como se indica a continuación: con $h = 7.3$ $Q = 2 \text{ l/s}$

$$\text{Gasto máximo por metro lineal} = 7.9 \text{ l/s}$$

$$\text{Gasto máximo por tanque} = 351 \text{ l/s}$$

Considerando que la purga diaria de lodos es de 53.98 m³, para intervalos entre purgas de una hora el volumen de lodos purgados es de 2.25 m³. Si el área mínima de cada sedimentador es del descenso de nivel que ocurrirá como resultado de la purga será de:

$$2.25 \text{ m}^3 / 160 \text{ m}^2 = 0.01406 \text{ m}$$

$$m = 1.4 \text{ cm}$$

Por lo que el gasto de salida decrecerá, pero sin llegar a interrumpirse completamente, pues la carga hidráulica normal sobre los vertedores es de 3.9 cm.

TABLA 5-15. RESUMEN DE RESULTADOS DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO, UTILIZANDO LAS ECUACIONES 15 A 22.

I. Datos	
1. Gasto medio (m ³ /día)	29,661.10
2. Gasto pico (m ³ /día)	69,314.60
3. Concentraciones de sólidos (mg/l)	
Sólidos suspendidos fijos	162.00
Sólidos suspendidos volátiles	131.00
Sólidos suspendidos totales	293.00
4. Aportación de masas (Kg/d)	
Sólidos suspendidos fijos	415,161.00
Sólidos suspendidos volátiles	335,716.00
Sólidos suspendidos totales	750,877.00
II. Criterios de diseño	
1. Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² -día)	40.70
2. Tiempo mínimo de retención (h)	1.50
Carga máxima sobre vertedores (m ³ /m-día)	248.00
Resultados	
1. Área superficial de sedimentadores (m ²)	728.77
2. Volumen mínimo de sedimentadores (m ³)	1,853.82
3. Altura mínima de columna de agua (m)	2.54
4. Carga superficial de sólidos (kg/m ² -día)	8.20
5. Longitud mínima de vertedores (m)	279.49
6. Remoción de sólidos suspendidos	
Remoción de SST (%)	50.00
Remoción de SSF (%)	72.40
Remoción de SSV (%)	22.40
7. Producción de lodos primarios (Kg/día)	
Sólidos fijos	2,161.80
Sólidos volátiles	667.90
Sólidos totales	2,829.70
8. Concentración de sólidos en los lodos	
a) Límite inferior	2.50
b) Límite superior	4.00
9. Volumen de lodos producidos (m ³ /día)	
a) Límite inferior	71.00
b) Límite superior	113.00
10. Concentración de sólidos en el efluente (mg/l)	
Sólidos fijos	186.90
Sólidos volátiles	197.00
Sólidos totales	191.40

TABLA 5-16. DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES.

1. Número de tanques	2
2. Área mínima de cada tanque (m ²)	
Área calculada por CHS (m ²)	364.39
Ajuste de área por entradas y salidas (15%)	54.66
Área total (m ²)	419.05
3. Diámetro mínimo de cada tanque (m)	34.95
4. Longitud de vertederos en cada tanque (m)	109.79
5. Carga hidráulica sobre vertederos:	
a) a gasto medio (m ³ /m-día)	308.98
b) a 1.2 del gasto medio (m ³ /m-día)	370.77
c) a 1.91 del gasto medio (m ³ /m-día)	590.15
6. Volumen estimado de tolva de lodos (m ³)	4.11
7. Tasa de acumulación de lodos por tanque (m ³ /h)	7.57
8. Intervalo máximo de tiempo entre purgas (h)	2
9. Balance de masas por tanque:	
a) <i>Influyente</i>	
Agua (m ³ /día)	14,830.60
Sólidos fijos (Kg/día)	207,580.00
Sólidos volátiles (Kg/día)	167,858.00
Sólidos totales (Kg/día)	375,439.00
b) <i>Efluente</i>	
Agua (m ³ /día)	14,717.40
Sólidos fijos (Kg/día)	1,375.22
Sólidos volátiles (Kg/día)	1,449.34
Sólidos totales (Kg/día)	2,824.56
c) <i>Purga de lodos</i>	
Agua (m ³ /día)	113.19
Sólidos fijos (Kg/día)	1,080.90
Sólidos volátiles (Kg/día)	333.96
Sólidos totales (Kg/día)	414.85

6. EVALUACIÓN TÉCNICA Y CONCLUSIONES.

Después de haber analizado los tratamientos de aguas residuales propuestos, revisado las ventajas y desventajas que ofrece cada uno, se puede concluir que hay dos tipos de tratamiento bastante ventajosos que son el sistema de Lodos Activados y los RBC, en referencia a las lagunas para tratamiento de aguas residuales.

6.1. EVALUACIÓN TÉCNICA PARA UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS.

Uno de los puntos principales que se deben de resolver, es que el equipo que constituya un tratamiento sea accesible en el manejo y funcionamiento; así como, de estructura y que finalmente lo que nos reporte sean beneficios reales y con costos relativamente bajos.

Para lo cual ya se ha observado que durante el desarrollo del diseño del sistema de tratamiento de lodos activos resulta recomendable; principalmente, porque es uno de los tratamientos más "populares" en este ámbito y porque actualmente este tipo de tratamientos se constituye como un paquete siendo más accesibles en costo operación y mantenimiento. El punto de mantenimiento resulta muy atractivo, porque en México se tiene una mayor experiencia en este tipo de sistemas, siendo uno de los grandes puntos a favor.

Con este tipo de tratamiento se obtiene una reducción de DBO entre el 70-98 %, e los sólidos suspendidos entre 85-95 % y en bacterias 95-98 %⁹. Como principal desventaja el tratamiento de las aguas residuales está limitada cuando existen sustancias tóxicas.

6.2. EVALUACIÓN TÉCNICA PARA UN SISTEMA DE BIODISCOS (RBC).

Estos sistemas se fueron analizando en el momento de su descripción, por lo que realmente el que brinda un mejor servicio, técnicamente es el RBC. A continuación se indican en forma resumida las ventajas y desventajas

Ventajas

- La experiencia indica que este sistema tiene bajo consumo de energía.
- Consta de un mantenimiento más sencillo en los discos.
- Flexibilidad debido al cultivo biológico
- Sedimentación relativamente rápida lo que disminuye costos en el clarificador secundario.
- No se requiere recirculación de lodos.

Desventajas

- Una pequeña película líquida con gran superficie se expone al aire.
- Peligro de congelación cuando la operación se lleva a cabo en climas fríos, causa que difícilmente ocurrirá en México, aunque se pudiera dar el caso al norte de la República.

Las desventajas son mínimas y si muchas las ventajas en el sistema de RBC, que repercuten en grandes beneficios para la sociedad y el ambiente. Sin embargo, no hay que olvidar lo que son los costos y que muchas veces es lo decisivo en la toma la decisión final. Por lo que hasta este momento técnicamente es el sistema más adecuado.

Con respecto a los RBC; este tipo de tratamiento revela muchas ventajas en el área operativa y de las características de calidad y en lo que se refiere al área que en un momento dado puede ocupar. Más, es de suma importancia considerar que el mantenimiento que se proporciona a este tipo de equipo que constituye el sistema de tratamiento debe de ser operado por personal calificado, ya que el mantenimiento conlleva a desmontar el sistema, esto ocurre generalmente con los equipos que no se fabrican en México, lo que representaría un alto costo.

6.3. EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LAGUNAS.

Como se ha podido observar, el tratamiento de aguas residuales en las lagunas de estabilización resulta en apariencia económica, más se debe de considerar lo que es parte técnica y operativa. La técnica de tratamiento es simple y no se requieren en suma equipo de operar e incluso trabajan por si solas, en periodos largo, 10 años. Es importante mencionar que los contaminantes como la DBO, sólidos suspendidos y bacterias tienen un alto porcentaje de reducción, no obstante este punto, para lugares con incremento de población elevado es recomendable, un sistema por lodos activados.

Por otro lado, se debe de considerar que se requieren grandes extensiones de terrenos, y además existe un inconveniente que es el de los olores. Este es un punto muy importante a considerar ya que el sistema de tratamiento estará en un área circunvecina de la población de donde provenga el agua residual y si lo que se está proponiendo es que la situación ambiental mejore debe ser en todos los ámbitos, por lo que se descarta esta posibilidad como tratamiento.

6.4. CONCLUSIONES.

De acuerdo a las ventajas y desventajas de cada tipo de tratamiento, así como operación y mantenimiento, se ha determinado que uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es el de lodos activados. Como se ha mencionado este tratamiento ha sido uno de los que mejor han funcionado en México, quizás por el clima y tipo de contaminantes, Adicionalmente es uno de los procesos que mejor se conoce en cuanto a operación y mantenimiento.

Es importante mencionar, que este tipo de tratamiento ha tenido mejoras recientes en su proceso, ya que se le ha incrementado un tanque para el tratamiento y minimización en la generación de lodos que son considerados como residuo peligroso por definición de la norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y se debe demostrar su inocuidad para poder disponerlos de otra forma. Por tanto, se puede decir que técnicamente hablando este tipo de tratamiento es una de las mejores opciones para tratar las aguas residuales. Sin embargo, para llevar a cabo un proyecto viable, será necesario realizar un estudio técnico económico real, que permita tomar la mejor decisión y seleccionar el proyecto más conveniente.

7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, CNA.
2. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Dirección Técnica.
3. W. Wesley Eckenfekder, Jr.; "Industrial Water Pollution Control", 2ª Edición, McGraw-Hill Book Company, E.U.A., pag. 189-261, 1989.
4. R. S. Ramalho.; "Tratamiento de Aguas Residuales", Editorial Reverté, S. A., España, pag. 199-409, 437-458, 493-501, 1991.
5. Manual of Practice for Water Pollution Control Wastewater, Treatment Plant Design, Water Pollution Control Federation Washington D.C., E.U.A., 1977.
6. Technical Data Sheet ST112, Shallamatic, Hidraulically Operated Corved Bar Screen by Ames Crosta Babook.
7. Michael A. Winkler; "Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho", Editorial Limusa, México, pag. 15-130, 1986.
8. "Stándar Methods for the Examination of de Water and Waste Water", 19 th. Ed APHA-AWWA, 1995
9. Guía de Saneamiento Básico Industrial, POS, México, 1987, pag. 169-171.
10. Comisión Nacional del Agua (CNA).
11. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
12. Diario Oficial de la Federación. México, 14 diciembre de 1996. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

13. Diario Oficial de la Federación. México, 1º diciembre de 1992. Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.
14. Diario Oficial de la Federación. México, 30 diciembre de 1996. Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.
15. Plan Nacional de Desarrollo 2001 – 2006
16. Diario Oficial de la Federación. México, 7 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales.
17. Instituto de Ecología de la UNAM

ANEXOS

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

PARAMETRO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA CON PLUVIAL
PH	7.48	7.44
Color	153.82	132.38
Turbidez	82.53	77.67
Alcalinidad total	163.80	158.46
Dureza total	92.73	89.90
Bicarbonatos	165.03	159.07
Conductividad eléctrica	456.07	462.36
Cloruros	27.22	26.12
Boro	0.17	0.16
Sulfatos	27.00	20.00
Dureza de calcio	63.50	54.75
Dureza de magnesio ^{35,00}	34.50	
Sólidos totales	584.32	577.61
Sólidos totales fijos	297.78	293.10
Sólidos totales volátiles	286.45	288.88
Sólidos disueltos totales	371.65	379.52
Sólidos disueltos fijos	255.05	252.00
Sólidos disueltos volátiles	116.65	127.60
Sólidos suspendidos totales	214.10	201.46
Sólidos suspendidos fijos	39.58	39.24
Sólidos suspendidos volátiles	174.77	161.11
Sólidos sedimentables	4.49	4.57
Nitrógeno amoniacal	14.77	13.91

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA CON PLUVIAL
Nitrógeno total	27.36	26.20
Nitratos	6.73	6.47
Fósforo Total	20.78	20.09
Fosfatos totales	12.85	11.82
Ortofosfatos	0.23	0.15
Calcio soluble	38.74	28.15
Magnesio soluble	9.33	8.52
Sodio soluble	55.98	52.87
Potasio soluble	12.28	12.01
Calcio total	21.37	19.85
Magnesio total	9.85	8.94
Sodio total	55.57	52.69
Potasio total	12.73	12.50
Fierro soluble	0.0728	0.0887
Manganeso soluble	0.0489	0.0480
Plomo soluble	0.0350	0.0335
Cadmio soluble	0.0045	0.0042
Mercurio soluble	0.0002	0.0002
Arsénico soluble	0.0003	0.0003
Cromo soluble	0.0057	0.0056
Zinc soluble	0.0095	0.0197
Cobre soluble	0.0095	0.0097
Selenio soluble	0.0004	0.0005
Silicio soluble	0.0021	0.0020
Fierro total	0.5678	0.5585

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE AGUA DOMESTICA CON PLUVIAL
Manganeso total	0.2867	0.1764
Plomo total	0.0351	0.0326
Cadmio total	0.0045	0.0114
Mercurio total	0.0009	0.0016
Arsénico total	0.0003	0.0004
Cromo total	0.0059	0.0061
Zinc Total	0.1540	0.1170
Cobre total	0.0390	0.0320
Selenio total	0.0003	0.0004
Silicio total	0.0024	0.0022
Coliformes fecales	3.90E+07	3.20E+07
Coliformes totales	6.37E+07	6.30E+07
DBO total	164.15	165.69
DBO soluble	58.21	61.22
DQO total	429.45	418.69
DQO soluble	172.17	168.24
Grasas y aceites	100.18	83.90
SAAM	14.81	14.00

ANEXO II

Ecuaciones para el cálculo de un reactor para lodos activados

ESTABLECER CUAL ES LA DBO₅ CONSUMIDA

1. kg DBO₅ consumida
2. kg DBO₅ /d = 86.4(S_F - S_e)

ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIA

$$HP = \frac{86.4 Q_F (S_F - S_e)}{20 \text{ a } 22}$$

ECUACIÓN BÁSICA DE T_w

$$T_w = \frac{A T_a + Q_F T_F}{A_F + Q_F}$$

en la que: $F = h/3.6 \times 10^6$

$$h = \text{kcal}/(\text{h})(\text{m}^2)(^\circ\text{C})$$

Ecuación aproximada rápida

$$hA = 1134 \text{ (HP)}$$

$$T_w = \frac{3.6 \times 10^6 Q_F T_F + 1134 \text{ (HP)} T_a}{3.6 \times 10^6 Q_F + 1134 \text{ (HP)}}$$

EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA Balsa DE AERACIÓN SOBRE LOS PARÁMETROS BIOCINÉTICOS

1. k : $k_{T_w} = k_{20} \theta^{T_w - 20}$ $(1.0 < \theta < 1.135)$
2. k_d : $k_{d,T_w} = k_{d20} \theta^{T_w - 20}$ $(1.03 < \theta < 1.06)$
3. b : $b_{T_w} = b_{20} \theta^{T_w - 20}$ $(1.03 < \theta < 1.06)$

CALCULO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA t

1. Caso 1: Para consumo de DBO soluble

$$t = (S_F - S_e) / k X_{V,a} S_e$$

(condiciones invernales)

Caso 2 Para floculación óptima

$$t = S_F / (X_{V,a} (F/M)_{opt})$$

2. Relación F/M real

$$F/M = S_F / X_{V,a} t$$

(t = tiempo real de residencia seleccionado)

3. S_e real (condiciones invernales y veraniegas)

$$S_e = S_F / (1 + k X_{V,a} t)$$

(t = tiempo real de residencia seleccionado)

CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR

$$V = Q_F t$$

Ecuaciones cinéticas en función de la DBO soluble

$$q = \frac{S_F - S_e}{X_{V,a} t} = k S_e$$

siendo $t = V/QF$ (tiempo de residencia) en función de la DQO

$$q = \frac{S_F - S_e}{X_{V,a} t} = k (S_e - S_n)$$

POTENCIA REQUERIDA

$$HP = \frac{\text{kg } O_2/h}{(RT)_{\text{real}} \text{ kg } O'' / (HP \times h)}$$

CÁLCULO DE FLUJOS

1. $Q_P = rQ_F$
2. $Q_O = Q_F (r + 1)$
- 3.

$$Q_U = \frac{\Delta X_V + Q_F X_{V,F} - Q_F X_{V,e}}{X_{V,U} - X_{V,e}}$$

4. $Q_e = Q_F - Q_w$
5. $Q_u = Q_O - Q_e$
6. $t_h = V Q_O = t / (r + 1)$

BALANCE DE MATERIA DE LOS SÓLIDOS NO-VOLÁTILES

1. $X_{NV,a} = (1 - F_N) X_{V,a} F_V = X_{NV,O}$
2. $X_{NV,u} = (Q_F (r + 1) X_{NV,a} - Q_e X_{NV,e}) / Q_u$
Ecuación aproximada es $X_{NV,e} = 0$
 $X_{NV,u} = Q_F (r + 1) X_{NV,a} / Q_u$
3. $X_{NV,F} = (r + 1) X_{NV,a} - r X_{NV,u}$

NECESIDADES DE OXÍGENO

$$\text{kg O}_2 = a(S_F - S_e) Q_F + bX_{V,a} V$$

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE RECICLADO r

$$r = \frac{Q_F X_{V,a} - \Delta X_V - Q_F X_{V,F}}{Q_F (X_{V,u} - X_{V,a})}$$

ecuación aproximada

$$r = X_{V,a} (X_{V,u} - X_{V,a})$$

PRODUCCIÓN NETA DE BIOMASA

$$\Delta X_V = Y (S_F - S_e) Q_F - k_d X_{V,a} V$$

PRODUCCIÓN TOTAL DE LODOS

1. $(VSS)_w = Q_w X_{V,u} = \frac{Y (S_F - S_e) Q_F - k_d X_{V,a} V}{\Delta X_V} Q_F X_{V,F} - Q_e X_{V,e}$
2. $(NVSS)_w = Q_w X_{NV,u} = Q_F (X_{NV,F} - S_{NV,e}) + Q_w X_{NV,e}$
3. $(TSS)_w = (VSS)_w + (NVSS)_w$

CONCENTRACIONES S_0 Y $X_{V,0}$ DE LA ALIMENTACIÓN COMBINADA

1. $S_0 = (S_F + r S_e) / (1 + r)$
2. $X_{V,0} = (X_{V,F} + r X_{V,u}) / (1 + r)$

NEUTRALIZACIÓN REQUERIDA

De acuerdo a las condiciones del sistema en particular

NUTRIENTES REQUERIDOS

Nitrógeno perdido: $0.12 \Delta X_v + 86.4 Q_F (1.0)$: kg/d

Nitrógeno disponible: $86.4 Q_F (NTK)$: kg/d

Fósforo perdido: $0.12 \Delta X_v + 86.4 Q_F (0.5)$: kg/d

Fósforo disponible: $86.4 Q_F (P)$: kg/d

DBO TOTAL DEL EFLUENTE

$$DBO_5 \text{ total} = S_e + \psi X_{V,E}$$

ANEXO III

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE,
RECURSOS NATURALES Y PESCA.**

**NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM-001-SEMARNAT-1996.**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 50. fracciones VIII y XV, 80. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41 45, 46 fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente **Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y**

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, mezaninne planta alta,

Colonia Tlacopac, Código Postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Ordenamiento Legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 24 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.

ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de

dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas - Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH -Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 26 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de 1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de febrero de 1987.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas costeras

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

3.2 Aguas nacionales

Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

3.3 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

3.4 Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

3.5 Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

3.6 Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

3.7 Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

3.8 Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno₅, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo

se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

3.10 Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

3.11 Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.12 Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.13 Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.14 Estuario

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

3.15 Humedales naturales

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

3.16 Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.17 Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo,

mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

3.18 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

T A B L A 1

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo N.E.	Máximo N.E.
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E. = No especificado.

3.19 Muestra simple.- La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo. El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times (Qi / Qt)$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Qt = $\sum Qi$ hasta Qn , litros por segundo

3.20 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

3.21 Promedio diario (P.D.)

Es el valor que resulta del análisis de una

muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.

3.22 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

3.23 Riego no restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

3.24 Riego restringido

La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

3.25 Río

Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

3.26 Suelo

Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

3.27 Tratamiento convencional

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

3.28 Uso en riego agrícola

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

3.29 Uso público urbano

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

4. ESPECIFICACIONES

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado

como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos por litro para riego restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

T A B L A 2

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

- (1) Instantáneo
- (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
- (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.
- P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;
- N.A. = No es aplicable
- (A), (B) y (C) Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

T A B L A 3

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETRO S (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Niquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

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

Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes

corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

T A B L A 4

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

T A B L A 5

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales

pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir

de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la

Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

T A B L A 6

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

T A B L A 7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes

de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrán modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

T A B L A 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

T A B L A 9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua:

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene

la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

4.12 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

6. VERIFICACIÓN

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos

normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).

- 8.2 Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992. USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A.)
- 8.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.
- 8.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edición Mcgraw-Hill International Editions. E.U.A.)
- 8.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 8.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. Mcgraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

- 8.7 U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).
- 8.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 8.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I y II. E.U.A.)
- 8.10 Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3rd Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. Mcgraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)
- 8.11 Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México. Informe Final. Dic. 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.
- 8.12 Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 8.13 Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 8.14 Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995.
- 8.15 Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.
- 8.16 Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- 8.17 Estudio de la Desinfección del Efluente Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.

- 8.18 Formación y Migración de Compuestos Organoclorados a través de Columnas Empaquetadas con Suelo de la Zona de Tula-Mezquital-Actopan. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.19 Estudio de Calidad y Suministro del Agua para Consumo Doméstico del Valle del Mezquital. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.20 Estudio de Impacto Ambiental Asociado al Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.21 Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.22 Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.23 Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995.
- 8.24 XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990
- 8.25 Normas Oficiales Mexicanas para descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores: NOM-001-ECOL/1993 a NOM-033-ECOL/1993, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993**; NOM-063-ECOL/1994 a NOM-065-ECOL/1994 publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995**; NOM-066- ECOL/1994 a NOM-068-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1995**; NOM-069- ECOL/1994 y NOM-070- ECOL /1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995**; y NOM-071-ECOL-1994 a NOM-073-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1995**.
- 8.26 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEMARNAP. Instituto de Ecología. México, D.F.
- 8.27 Catálogo Oficial de Plaguicidas Control Intersectorial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. SARH, SEDESOL, SSA y SECOFI. México, D.F. 1994.
- 8.28 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA.

- 8.29 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.30 Manejando las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Reporte 1993. EUA. Comité Sobre el Manejo de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Consejo de Ciencia y Tecnología sobre Agua. Comisión de Sistemas Técnicos e Ingeniería. Consejo Nacional de Investigación.
- 8.31 NMX-AA-087-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Daphnia magna* Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).
- 8.32 NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con *Artemia franciscana* Kellogs (Crustacea-Anostraca).- Método de Prueba.
- 8.33 NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con *Photobacterium phosphoreum*.- Método de Prueba.

9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina

en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

9.3 Se abrogan las normas oficiales mexicanas que a continuación se indican:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria productora de azúcar de caña.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de fertilizantes excepto la que produzca ácido fosfórico como producto intermedio.

Norma Oficial Mexicana NOM-005-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.

Norma Oficial Mexicana NOM-006-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de harinas.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas

residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de asbestos de construcción.

Norma Oficial Mexicana NOM-009-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de leche y sus derivados.

Norma Oficial Mexicana NOM-010-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos de vidrio prensado y soplado.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria hulera.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las

descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria textil.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la celulosa y el papel.

Norma Oficial Mexicana NOM-016-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de bebidas gaseosas.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-018-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas

residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de impregnación de productos de aserradero.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del curtido y acabado en pieles.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de matanza de animales y empaqueo de cárnicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de envasado de conservas alimenticias.

Norma Oficial Mexicana NOM-024-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada.

Norma Oficial Mexicana NOM-026-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de restaurantes o de hoteles.

Norma Oficial Mexicana NOM-027-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del beneficio del café.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado.

Norma Oficial Mexicana NOM-029-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles

de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de hospitales.

Norma Oficial Mexicana NOM-030-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de jabones y detergentes.

Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL-1993, que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las 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. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 18 de octubre de 1993:

La nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas antes citadas está en términos del Acuerdo por el que se reforma la nomenclatura de 58 Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de noviembre de 1994.

Asimismo se abrogan las siguientes normas oficiales mexicanas:

Norma Oficial Mexicana NOM-063-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria vinícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-064-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la destilería.

Norma Oficial Mexicana NOM-065-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de pigmentos y colorantes. Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995.**

Norma Oficial Mexicana NOM-066-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la galvanoplastia.

Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles

de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1995.**

Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-070-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación, conservación y envasado de frutas, verduras y legumbres en fresco y/o congelados, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995.**

Norma Oficial Mexicana NOM-071-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-072-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias

de fertilizantes fosfatados, fosfatos, polifosfatos, ácido fosfórico, productos químicos inorgánicos fosfatados, exceptuando a los fabricantes de ácido fosfórico por el proceso de vía húmeda.

Norma Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de enero de 1995.

TRANSITORIO

ÚNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

- 1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha

infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 6 y 7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 4 y 5, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

- 2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia.

quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.

- 3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.
- 4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.
- 5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial

Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 180 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.

- 6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México., Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis. La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Julia Carabias Lillo.- Rúbrica.

ANEXO 1

TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTO

1. OBJETIVO

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

3. DEFINICIONES

3.1 Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

3.2 Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *H. diminuta*, entre otros.

3.3 Nemathelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

3.4 Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5 Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

4. FUNDAMENTO

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de *Ascaris*.

5. EQUIPO

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1000 a 2500 revoluciones por minuto

Períodos de operación de 1 a 3 minutos

Temperatura de operación 20 a 28 °C

Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión

1/3 hp

Microscopio óptico: Con iluminación Köheler

Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil; Sistema de microfotografía

Agitador de tubos: Automático

Adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: Con agitación

Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm³

Temperatura de operación: 0 a 4 °C

6. REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

Preparación

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

Preparación

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

7. MATERIAL

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 μm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro

- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedgwick-Rafter

8. CONDICIONES DE LA MUESTRA

1. Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
2. Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo
3. Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
4. Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

9. INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10. PRECAUCIONES

1. Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
2. Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11. PROCEDIMIENTO

- 1 Muestreo
 - a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
 - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).

- c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha
 - d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
2. Concentrado y centrifugado de la muestra
- a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
 - b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
 - c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 μm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
 - d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
 - e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
 - f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
 - g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
 - h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
 - i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO_4 con una densidad de 1.3.
 - j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
 - k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
 - l) Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
 - m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
 - n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
 - ñ) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).

- o) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2.000 - 2.500 rpm por 3 minutos).
- p) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H_2SO_4 0.1 N) + C_2H_5OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- q) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- r) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- s) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.

3. Identificación y cuantificación de la muestra

- a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwick-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
- b) Realizar un barrido total al microscopio.

12. CÁLCULOS

- 1 Para determinar los rpm de la centrífuga utilizada, la fórmula es:

Donde:

g: fuerza relativa de centrifugación

K: constante cuyo valor es 89,456

r: radio de la centrífuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

2. Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.

13. FORMATO

No aplica.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., Washington.
2. CETESB, São Paulo, 1989 Helmintos e Protozoários Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos em Amostras Ambientais.
3. Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.

ANEXO IV

TERMINOLOGÍA

Abultamiento de lodos	Fenómeno que aparece en las plantas de tratamiento de aguas residuales por lodos activos, caracterizado por el hecho de ocupar éstos un volumen excesivo y no sedimentar fácilmente. Suele ir asociado a la presencia de organismos filamentosos.
Acondicionamiento de fangos	Tratamiento físico y/o químico que se lleva a cabo con el objeto de conseguir una mayor eficacia en las etapas posteriores de deshidratación, mediante la adición de reactivos que provocan la formación de flóculos en el fango, facilitando la eliminación de agua.
Acuífero	Formación porosa (lecho o estrato) que contiene agua constituida por rocas permeables, arena o grava, capaz de ceder importantes cantidades de agua, es decir de que sea extraída.
Adsorción en aguas residuales.	Tratamiento terciario de aguas residuales que se emplea para eliminar microcontaminantes, generalmente orgánicos, en disolución o digestión coloidal, por medio de fenómenos superficiales físicos o físico-químicos, en los que los adsorbentes de gran superficie específica retienen a dichos adsorbatos.
Aereación	Propiciar un contacto íntimo entre el aire y el líquido por medio de alguno de los siguientes procesos: Atomizar un líquido en el aire, Agitar el líquido para promover la absorción del aire su superficie, Hacer pasar aire a través de un medio poroso o difusor que se encuentra dentro del líquido.
Aglomeración	Proceso y método utilizado para el tratamiento de aguas residuales, en el que existe un agrupamiento de partículas o pequeños flóculos en suspensión para formar mayores flóculos o grandes partículas que se sedimentan o pueden flotar más fácilmente.
Agregación	Ver Aglomeración
Agua	Líquido formado por una combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno. Inodoro e insípido, en pequeña cantidad, incoloro, y verdoso en grandes masas, que refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío, se evapora por el calor y forma las aguas superficiales y subterráneas. El agua no es pura, sino que tiene en suspensión o disueltas diversas sustancias de origen natural (parámetros naturales)
Agua blanda	Es aquella agua que contiene poca dureza o baja cantidad de sales de magnesio y cálcicas.
Agua bruta	Agua que no ha sido sometida a ningún tratamiento y que se transporta a una instalación para su acondicionamiento para usos posteriores.
Agua contaminada	Agua que contiene en su seno microorganismos patógenos, sustancias minerales u orgánicas de diverso origen, en tales cantidades o concentraciones que pueden modificar la calidad original de la misma, haciéndola inadecuada para la mayoría de los usos.
Agua de abastecimiento	Agua generalmente tratada o de calidad probada, que pasa a una red de distribución o a un depósito de servicio para el uso destinado.
Agua de dominio público	Las aguas que constituyen el dominio público hidráulico. Son: continentales, tanto superficiales como subterráneas renovables, causas de corrientes

	naturales, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces públicos y acuíferos subterráneos.
Agua de riego	Agua aportada a suelos o sustratos de crecimiento de plantas con el fin de incrementar su contenido de humedad y proporcionar el agua necesaria para el crecimiento normal de las plantas y/o prevenir la acumulación de exceso de sales en el suelo.
Agua dura	Agua que contiene en disolución cantidades elevadas de sales de magnesio y cálcicas y que ofrece dificultad para dar espuma al jabón.
Agua industrial	Agua utilizada por las instalaciones industriales de producción para la cual, dependiendo de su aplicación, para refrigeración, enfriamiento de proceso, lavado, contra incendios, calderas, etc., se requieren de demandas de calidad, más o menos rigurosas, de tal forma que las condiciones pueden variar desde la utilización directa de agua superficial o subterránea hasta el empleo de agua destilada.
Agua no potable	Agua cuyas condiciones físicas y químicas y/o caracteres microbiológicos o de radioactividad impiden su inclusión en alguna de las clases de agua potable o sanitariamente tolerable.
Agua potable	Agua destinada a consumo humano. Ha de ser clara e incolora, con una temperatura entre 8 y 11 ° C y no ha de contener gérmenes infecciosos ni ningún tipo de condición física o química que sobrepase ninguno de los límites establecidos como máximo tolerable que pueda perjudicar a la salud.
Agua subterránea	Agua que se encuentra en las capas interiores de la tierra a partir del nivel freático, circulante o estancada y que constituye horizontes o capas acuíferas que pueden aflorar a la superficie de la tierra por fuentes o manantiales, o ser extraídas mediante pozos.
Agua superficial	Agua que se encuentra en la superficie de la tierra formando océanos, mares - aguas marinas -, lagos, ríos, arroyos, estanques, etc. – aguas continentales – en oposición con las aguas subterráneas.
Aguas residuales	Aguas vertidas o descargadas después de ser usadas en hogares, industrias, comercios o instalaciones agrícolas y que contienen materiales disueltos o en suspensión en grado y tipología muy variables, en función de su uso y origen.
Aguas residuales depuradas	Aguas residuales que, por procesos biológicos, químicos o físicos, son entera o parcialmente despojadas de elementos orgánicos, por eliminación mineralización o cualquier otro tipo de procedimiento.
Aguas residuales domésticas	Aguas residuales producidas por el uso de agua en una comunidad y que pueden contener aguas residuales de fuentes industriales en diversas dosis. Suelen llevar disueltas o en suspensión material coloidales y materias sólidas mayoritariamente orgánicas, oscilando en volumen en las grandes ciudades entre 100 y 400 litros por habitante al día.
Aguas residuales industriales	Aguas residuales procedentes de las actividades industriales y producidas como consecuencia de las diversas aplicaciones o fines que el agua tiene en la industria como transmisora de calor (condensación de vapor y refrigeración), para uso sanitario, para la producción de energía, como materia prima, disolvente, medio de transporte de materiales y residuos, con funciones de aclarado de piezas, lavado de productos, servicios de limpieza de las instalaciones, etc.
Alcantarillado	Red de colectores y estructuras accesorias que transportan aguas residuales

	y/o de lluvia hacia una instalación de depuración o a un punto de vertido.
Auto depuración biológica	Es un conjunto de procesos naturales de descomposición aeróbica de las sustancias orgánicas que transporta el agua, llevados a cabo por microorganismos (autótrofos y herótrofos) y en los que el oxígeno desempeña un papel principal.
Autorización de vertido a cause público	Acto administrativo por el que se otorga permiso para realizar, directa o indirectamente, en los causes, cualquiera que sea la naturaleza de éstos, vertidos de aguas o de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales o de provocar la degradación del dominio público hidráulico, incluyendo los que se realicen en el subsuelo o sobre el terreno, balsas o excavaciones mediante evacuación, inyección o depósito.
Bacterias	Plantas primitivas generalmente no pigmentadas, las cuáles se reproducen dividiéndose en 2 ó en 3. Pueden encontrarse en forma simple, grupos, cadenas o filamentos, y no necesitan luz para sus procesos de vida. Pueden crecer en cultivos hechos fuera de su hábitat natural
Bacterias aeróbicas	Las que requieren oxígeno libre para su crecimiento
Bacterias anaeróbicas	Las que crecen en ausencia de oxígeno, y producen oxígeno descomponiendo sustancias complejas.
Bacterias facultativas	Las que se adaptan para crecer en presencia o en ausencia de oxígeno.
Biodiscos o biocilindros	Sistema de tratamiento biológico que se emplean en la depuración aeróbica, siendo muy válidos como elementos de nitrificación y desnitrificación, así como reductores de la materia orgánica. Son unos soportes en forma de disco que se sumergen parcialmente en las aguas residuales que se vayan a tratar, girando a baja velocidad exponen alternativamente al aire y al agua residual, desarrollándose sobre ellos la película biológica que degrada la materia orgánica.
Biogás	Mezcla de metano y bióxido de carbono que se libera durante el proceso de fermentación anaerobia de residuos orgánicos y que se puede emplear como fuente energética.
Centrifugación de lodos o fangos	Eliminación parcial del agua contenida en los lodos de aguas residuales por la fuerza centrífuga.
Coagulación	Proceso químico de tratamiento de aguas residuales consistente en la desestabilización de las suspensiones coloidales o finamente divididas, por medio de la neutralización de las cargas eléctricas repartidas por su superficie, utilizando agentes químicos (coagulantes). El resultado es la formación de unas partículas de tamaño tal que pueden sedimentarse de forma más o menos rápida y que se llaman flóculos.
Cono imhoff	Vaso cónico graduado utilizado para medir aproximadamente el volumen de los sólidos que se asientan en diversos líquidos de desecho.
Contaminación del agua	Acción o efecto de introducir materias, formas de energía, microorganismos o introducir condiciones en el agua, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.
Contaminantes del agua	Cualquier agente físico o sustancia química o biológica, sea natural o xenobiótica (no natural), que se encuentra en tales concentraciones o cantidades que modifique las características iniciales del agua, afectando

	considerablemente los posibles usos futuros de este recurso natural. Son parámetros indicadores de contaminación: pH, conductividad, temperatura, sulfatos, compuestos del nitrógeno, fósforo, oxígeno, cloruros, DBO, DQO, microcontaminantes orgánicos e inorgánicos, microorganismos patógenos, etc.
Crterios de calidad del Agua	Niveles específicos de las características del agua que son exigidos para la utilización de la misma en un uso concreto. Están basados en determinados límites máximos o guías para ciertos parámetros que, de no cumplirse, convertirían el agua en inadecuada para el uso que estaba destinada. Los parámetros indicativos de la calidad del agua son naturales y/o generados exclusivamente en las actividades humanas (xenobióticos)
Cuenca receptora	Cuenca de drenaje natural de un curso de agua o de un punto dado.
Dbo5	La determinación del DBO, expresado en mg/lit ó en ppm en una prueba con duración de 5 días, (aunque en realidad la satisfacción completa de la demanda toma alrededor de 20 días), es quizá la determinación mas comúnmente hecha en los análisis de las aguas negras sanitarias, y su valor es utilizado para conocer el nivel de contaminación Orgánica que tienen dichas aguas, y así mismo, la reducción de dicho valor es utilizado para determinar la eficiencia a la que una Planta de Tratamiento esta funcionando. La velocidad a la cuál el Oxígeno es utilizado por la Bacteria esta en función de la temperatura, por lo que la prueba de la medición, siempre es hecha a los 20.0 °C. La prueba es hecha agregando una pequeña cantidad medida de aguas negras a una solución de agua limpia que contiene exceso de Oxígeno. Después de un tiempo de incubación de 5.0 días, el Oxígeno disuelto remanente es medido. Para conocer la cantidad de Oxígeno que esta disponible para que la muestra de agua negra sea oxidada, es necesario tomar al mismo tiempo otra muestra del agua limpia, por lo que después del tiempo de incubación, la diferencia del contenido de Oxígeno entre ambas muestras nos dirá cuanto Oxígeno fue utilizado por el agua negra.
Decantación	Procedimiento por el cual se depositan, en el fondo o superficie del tanque para el decantado, las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, tanto las procedentes de los procesos físicos, químicos o biológicos, en el tratamiento de las aguas residuales y que se eliminan por drenado (superficial o de fondo) o por su contención y vertido del agua decantada.
Decantador	Depósito en el que se produce la sedimentación de las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, como consecuencia del tratamiento que está recibiendo.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Índice de contaminación orgánica de un agua residual que indica la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la degradación aerobia de la materia biodegradable que contiene, en condiciones controladas de temperatura y tiempo. A mayor demanda de oxígeno, mayor es el grado de contaminación. La Reducción del DBO requiere un Tiempo que va de 1.0 hora hasta 10 días ó más, lo anterior depende de la naturaleza del DBO y/o de la eficiencia del Sistema de aereación.
Depuración aeróbica	Proceso de depuración biológica de aguas residuales, que se emplea conjuntamente el metabolismo de microorganismos aeróbicos y la floculación de las partículas en suspensión. El mecanismo consiste en la asimilación de la materia orgánica biodegradable (DBO) en presencia de oxígeno y

	nutrimento, obteniéndose productos finales del metabolismo aeróbico (CO_2 y H_2O) nuevos microorganismos y energía. Los flóculos formados se conducen hacia su decantación.
Depuración anaerobia	Proceso de depuración biológica de aguas residuales, consistente en la fermentación en ausencia de oxígeno de la materia orgánica, transformándose ésta en sucesivas etapas hasta obtener, finalmente, gas metano, gas carbónico, agua, nuevos microorganismos y diversos productos que son inertes. Los procesos de fermentación pueden llevarse a cabo a diferentes temperaturas: entre 25 y 35° C si es mesófila y entre 50 y 60 ° C si es termófila.
Depuración biológica	Procesos de control de la contaminación empleados en el tratamiento de aguas residuales en los que intervienen microorganismos, distinguiéndose dos tipos: en presencia de oxígeno, los aeróbicos y sin la presencia de oxígeno, los anaerobios, denominándose así tanto los microorganismos como los procesos de depuración.
Depuración de aguas residuales	Conjunto de procesos de control de la contaminación que intervienen en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, hasta un nivel que permita, o bien el vertido de éstas en las aguas de superficie, sin provocar efectos nocivos en el medio ambiente o bien su utilización posterior con diversos fines. Se distinguen tres tipos fundamentales de depuración: biológica, física y química.
Depuración física	Procesos de control de la contaminación empleados en el tratamiento de aguas residuales, consistentes en la aplicación de fenómenos físicos como la filtración, la flotación, la evaporación, la adsorción, la separación por membranas (ósmosis inversa), etc.
Depuración química	Procesos de control de la contaminación empleados en el tratamiento de aguas residuales llevados a cabo por la adición de productos químicos, produciéndose fenómenos como la coagulación, floculación, neutralización, oxidación, reducción, o por el contacto con sustancias químicas como el caso del intercambio iónico.
Desbaste	Operación de pretratamiento que tiene como fin el proteger a la estación de tratamiento de aguas de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obturaciones en distintas unidades de la instalación, colocándose para ello la cabecera de la misma rejilla, tamicos, filtros, etc.
Deshidratación de fangos	Operación física que persigue la reducción del volumen y del peso de los fangos, mediante la concentración de éstos, disminuyendo al máximo posible su contenido de humedad, facilitando de esta manera su manejo en el almacenamiento. Los equipos más importantes son las eras de secado y los que emplean la filtración y la centrifugación.
Desinfección	Tratamiento de agua destinado a eliminar los organismos patógenos, normalmente por medio de sustancias químicas.
Desinfectantes	Agentes que eliminan la infección matando las células vegetativas de los microorganismos.
Desmenuzador:	Aparato para disminuir el tamaño de los sólidos hasta que los mismos puedan pasar a través de las mallas de retención
Diálisis	Proceso por el que las moléculas pequeñas o iones se difunden a través de una membrana que además es impermeable al agua, ocasionando de este modo la separación de las moléculas grandes en solución y de las materias

	en suspensión.
Difusor	Es un plato, o tubo con orificios o poros a través de los cuales el aire es forzado a pasar para formar miniburbujas dentro de un líquido.
Dispersión de contaminantes en el agua	Transporte y disolución de contaminantes en el seno del agua, en los que intervienen los complejos procesos y fenómenos que tienen lugar en el seno de la misma, incorporándose como cualquier elemento, de forma que o terminan depositados en los lodos acuáticos o integrados en los ciclos biológicos o en las cadenas tróficas, etc., afectando al curso normal de funcionamiento de éstos en distinto grado, dependiendo de sus concentraciones y características.
Efectos de la contaminación del agua	Consecuencias provocadas por la contaminación del agua que afectan, por una parte, al uso que se le quiere dar a esta y, por otro, bajo una exposición directa al agua contaminada, al hombre y a los ecosistemas acumulándose los contaminantes en los seres vivos, sufriendo éstos; cánceres, intoxicaciones, mutaciones, disminuyendo el oxígeno disuelto en el agua, provocando la proliferación y transmisión de agentes patógenos, enfermedades, etc. (marea roja, cólera en moluscos; concentración de bifenilos, cadmio, mercurio DDT en el agua del mar, etc.)
Efluente	Agua o agua residual descargada desde un espacio cerrado tal como una planta de tratamiento de aguas residuales, proceso industrial o estanque.
Electrodialisis	Proceso utilizado para la des-ionización del agua en el que los iones son eliminados, bajo la influencia de un campo eléctrico, de una masa de agua y transferidos a otra, a través de una membrana de intercambio de iones.
Eliminación de nutrientes	Procesos biológicos, físicos y químicos utilizados en el tratamiento de las aguas y aguas residuales, destinado especialmente para la eliminación de compuestos de nitrógeno y fósforo.
Era de secado	Instalación destinada a la deshidratación de fangos, compuesta por una balsa con arena y un fondo drenado, sobre la que se depositan lodos estabilizados formando una capa entre 20 y 25 cm de espesor. El agua se pierde por drenado, a la vez que los lodos se van decantando y perdiendo agua por evaporación.
Espesamiento de fangos	Proceso para incrementar la concentración de sólidos en el lodo por eliminación de agua, haciendo más manejable y aumentando el rendimiento de los tratamientos posteriores. Existen equipos para espesar bajo los principios de; gravedad, flotación y centrifugación.
Estabilización de fangos	Proceso en el que las sustancias fácilmente degradables son destruidas de forma química o biológica. La estabilización biológica puede llevarse a cabo con presencia de oxígeno (digestión aeróbica) o en ausencia del mismo (digestión anaerobia)
Evaporación	Proceso físico de tratamiento de aguas consistente en llevar éstas a punto de ebullición evaporando el agua pura. El vapor se utiliza como energético o se deja escapar a la atmósfera, mientras que los compuesto inorgánicos pueden pasar a ser concentrados.
Fangos activados / lodos activados	Sistema de tratamiento de aguas diseñado para depurar el agua en forma aeróbica, que consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua que se va a depurar. La agitación evita sedimentos y homogeneiza la mezcla y acción de los flóculos bacterianos con el agua residual, la aireación puede

	realizarse con aire o con una mezcla enriquecida de oxígeno.
Fangos activos / lodos activos	Es la parte importante del tratamiento de agua en el que los cultivos bacterianos se encuentran en el período de floculación o floculados, con gran cantidad de microorganismos capaces de mineralizar la materia orgánica en presencia de oxígeno.
Fangos o lodos de depuración	Término sinónimo de lodo pero en el período final en el que es necesario retirarlos en forma semisólida y cuyos componentes pueden ser microorganismos, agua y materia orgánica e inorgánica, que aparece en el fondo de los decantadores y tinas de sedimentación.
Filtración de aguas	Procedimiento por el cual una mezcla de partículas y agua pasan a través de un medio poroso (filtro), que se retiene a los sólidos y se deja pasar los líquidos (filtrado). Es también empleada para la eliminación de partículas en suspensión de una masa de agua
Filtro desbastador	Filtro biológico que opera con cargas más elevadas tanto hidráulicas como orgánicas y cuyo objetivo es reducir el exceso de concentración de las sustancias orgánicas fácilmente degradables de las aguas residuales industriales fuertemente cargadas.
Filtro verde	Sistema de tratamiento de aguas residuales en el que se utilizan las propiedades del suelo, de los microorganismos y de algunas especies vegetales, para absorber y biodegradar materias orgánicas, se denomina así también al terreno o laguna donde se realiza el vertido.
Floculación	Agrupación de partículas descargadas que se ponen en contacto unas con otras en un medio acuoso por adición de productos químicos (coagulantes), dando lugar a la formación de partículas mayores llamadas flóculos que pueden ser retenidos con mayor facilidad en las siguientes etapas del tratamiento.
Flóculos	Partículas macroscópicas formadas en un líquido por floculación, generalmente separables por gravedad.
Flotación	Sistema de tratamiento de aguas destinado a conseguir una depuración física en la que se eliminan materias en suspensión que tienen una menor densidad que el agua o muy cercana a ella, introduciendo burbujas finas de aire a las que se adhieren formando un conjunto que asciende a la superficie donde son retiradas por vertido o decantación.
Fosa séptica	Cámara en la que se produce la fermentación y la licuefacción de los residuos sólidos y de la cual pasan las aguas al pozo absorbente o al alcantarillado
Influyente	Aguas residuales que entran en una planta de tratamiento de aguas residuales o en un proceso.
Influyente	Es el material que entra a una unidad o planta de tratamiento de agua
Intercambiador de iones	Sistema de tratamiento de agua que permite realizar una depuración química eliminando metales como el cobre, cinc, plomo, etc., en definitiva aniones o cationes, al ser reemplazados o intercambiados por otros iones cuando pasan a través de un lecho de estructura macro molecular que incluye uno o varios radicales de función ácida o básica (resinas). Están destinados a fijar iones que viajen en una fase líquida de concentración limitada.
Lagunaje	Sistema de tratamiento de aguas residuales mediante estanques o balsas artificiales expuestas al aire libre, en el que se produce una depuración

	biológica a través de procesos aerobios o anaerobios, según el tipo de laguna, que provocan la estabilización de la materia orgánica.
Lechos bacterianos	Sistema de tratamiento de aguas fundamentado en la depuración biológica, cuyo principio consiste en rociar con el agua residual en forma de lluvia un material de gran superficie específica que sirve de soporte a los microorganismos depuradores, los cuales forman con él y con las partículas orgánicas del agua una película biológica. las zonas profundas de ésta entran en anaerobiosis, se desprende gas, que se rompe y pasa a un decantador.
Licor mezclado	Es una mezcla formada por lodos activados recirculados, y por lodos de aguas negras entrando en el tanque de aireación, la cual a su vez recibe tratamiento posterior
Licor mixto	Mezcla de aguas usadas decantadas y de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo de lodos activos.
Lixiviado	Líquido obtenido en los vertederos y depósitos de seguridad de los tiraderos y rellenos sanitarios, cuando el agua de lluvia se pone en contacto con los residuos, convirtiéndose en agua contaminada por materia orgánica en descomposición, metales pesados, etc.
Lodo	Mezcla de agua y sólidos provenientes de desechos industriales o de aguas negras, crudas o tratadas, en tanques o en recipientes, conteniendo agua para formar una masa pastosa.
Lodos activados / Fangos activados	Sistema de tratamiento de aguas diseñado para depurar el agua en forma aeróbica, que consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua que se va a depurar. La agitación evita sedimentos y homogeneiza la mezcla y acción de los flóculos bacterianos con el agua residual, la aireación puede realizarse con aire o con una mezcla enriquecida de oxígeno.
Lodos activos / Fangos activos	Es la parte fundamental del tratamiento de agua en el que los cultivos bacterianos se encuentran en el período de floculación o floculados, con gran cantidad de microorganismos capaces de mineralizar la materia orgánica en presencia de oxígeno.
Lucha contra la contaminación del agua	Conjunto de acciones legales y técnicas destinadas a; prevenir la emisión de contaminantes al agua; las realizadas sobre las aguas usadas para devolverles las características necesarias para el uso que se le pretende dar y a regular las cantidades que pueden ser toleradas por el medio ambiente
Mineralización	Degradación completa de la materia orgánica a; bióxido de carbono, óxidos o sales minerales de todos los elementos presentes en las aguas residuales.
Neutralización del agua	Sistema de tratamiento aplicado para lograr una depuración química del agua, destinado a neutralizar ácidos o álcalis hasta conseguir un pH de equilibrio, cuyos valores se encuentran definidos por la legislación en el caso de vertido, o por los parámetros de actividad biológica, en caso de una depuración biológica posterior.
Nivel freático	Nivel superior del agua subterránea en reposo o naturalmente móvil bajo la cual la tierra está saturada de agua, hasta alcanzar una capa de tierra impermeable.
Origen de la contaminación del	Procedencia de las aguas residuales en función de los distintos tipos de actividades humanas, que contiene los problemas específicos de éstas. Se distinguen principalmente un origen agrícola, ganadero, urbano, pluvial e

agua	industrial. En otras situaciones está en la atmósfera y suelos contaminados.
Ósmosis inversa	Flujo de agua a través de una membrana que fluye desde una solución más concentrada a otra menos concentrada, como resultado de la aplicación de una presión superior a la diferencia de presiones osmóticas entre las dos soluciones.
Oxidación - reducción	Sistema de tratamiento de aguas que permite realizar una depuración química basado en la modificación del estado de oxidación de ciertos elementos (nitrogenados, sulfurados, cianurados, etc.) como objeto de hacerlos insolubles o no tóxicos. Se pueden presentar en forma oxidada o reducida y pasan de una a otra por incremento de electrones (reducción) o por pérdida de éstos (oxidación), de modo que, cuando un compuesto se oxida otro se reduce y viceversa.
Oxígeno disuelto	Es el oxígeno disuelto en los lodos cloacales, agua u otro líquido, expresado en partes por millón.
Parámetros de vertido	Valores permitidos de cantidades o concentraciones de elementos, sustancias o compuestos que pueden ser vertidos al medio según queda estipulado en la legislación.
Parámetros naturales del Agua	El agua de manera natural contiene una serie de parámetros en ciertas cantidades que provienen de fenómenos como la precipitación atmosférica, de solución y transporte de materiales, el contacto con la atmósfera y los restos bióticos y abióticos de los ecosistemas en los que está integrada. Éstos se clasifican, según las características que le confieren al agua, en físicos, químicos y biológicos, determinando la calidad natural del agua.
Película biológica	Capa de pequeño espesor compuesta de organismos vivos localizados en la superficie de un filtro de arena lento y que se consideran como componentes de una parte importante de la zona efectiva de filtración.
Planta de tratamiento de aguas residuales	Instalación compuesta por el conjunto de sistemas de tratamiento más adecuados para el tipo de agua residual que tratan, según su afluente y cuyo objetivo es la depuración del agua a un grado compatible con su uso posterior.
Pretratamiento	Sistema de tratamiento que pertenece a la línea de agua y que dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, está compuesto generalmente de diversas operaciones físicas y mecánicas, mediante las cuales se eliminan sustancias que por su naturaleza o tamaño podrían originar problemas a los tratamientos posteriores (sólidos gruesos, arenas, grasas, etc.), como son las operaciones de desbaste por rejillas, tamices, pozos de gruesos, desengrasadores, desarenadores, etc.
Putrefacción	Descomposición incontrolada de la materia orgánica debido a la acción microbiana anaeróbica con producción de olor nauseabundo.
Rebosadero	Una compuerta con una orilla o una ranura colocadas de tal manera que puedan ser utilizadas para medir el flujo, ó para evitar que los sólidos flotantes sean sacados del sistema
Recirculación	Retorno de una parte del agua residual parcial o totalmente tratada desde cualquier parte de una planta de tratamiento de aguas residuales a una unidad de proceso precedente.
Sedimentación	Separación por gravedad de los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua que se está tratando y cuya densidad es superior a la de la misma. Este proceso puede utilizarse en diversas etapas de una planta de

		tratamiento de aguas residuales: eliminación de arena, decantación primaria, decantación secundaria, coagulación química, espesado de fango, etc.
Separación membranas	por	Sistema de tratamiento de aguas contaminadas con el que se consigue una depuración física de la materia disuelta, empleando procesos de filtración tales como: ósmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, etc.
Sólidos		Disueltos: Sólidos que están presentes en una solución. No- Asentables: Sólidos suspendidos finamente divididos los cuáles no se asientan en agua quieta en un tiempo razonable, dicho tiempo arbitrariamente considerado como dos horas. Asentables: Sólidos suspendidos finamente divididos los cuáles si se asientan por gravedad en agua quieta en un tiempo razonable, dicho tiempo arbitrariamente considerado como dos horas. Suspendidos: La cantidad de material depositado cuando una cantidad de agua, u otro líquido es filtrado a través de un filtro de asbesto o similar. Totales: Los sólidos en agua, o cualquier otro líquido, incluyendo aquellos suspendidos y los filtrables
Sólidos		Disueltos: Sólidos que están presentes en una solución. o No- Asentables: Sólidos suspendidos finamente divididos los cuáles no se asientan en agua quieta en un tiempo razonable, dicho tiempo arbitrariamente considerado como dos horas. o Asentables: Sólidos suspendidos finamente divididos los cuáles si se asientan por gravedad en agua quieta en un tiempo razonable, dicho tiempo arbitrariamente considerado como dos horas. Suspendidos: La cantidad de material depositado cuando una cantidad de agua, u otro líquido es filtrado a través de un filtro de asbesto o similar. o Totales: Los sólidos en agua, o cualquier otro líquido, incluyendo aquellos suspendidos y los filtrables
Tratamiento de aguas residuales		Conjunto de sistemas, operaciones, procedimientos y equipos cuyo objetivo es conseguir la depuración de las aguas residuales en plantas o estaciones depuradoras.
Tratamiento de aguas residuales líneas de		En las plantas de tratamiento de aguas residuales existen dos líneas de tratamiento, la del agua y las de los lodos, esta última con el fin de optimizar su manejo.
Tratamiento de lodos		Sistema para eliminar el agua y la materia orgánica de los lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de lodos se realiza mediante procesos físicos, químicos y biológicos, desde el pretratamiento y puede requerir de espesamiento, estabilización, acondicionamiento y deshidratación.
Tratamiento o digestión anaerobia		Sistema de tratamiento de aguas residuales, que emplea las bacterias anaerobias para la digestión de la materia orgánica contenida en el agua residual. En un proceso de licuefacción, gasificación y mineralización, obteniendo un producto final inerte con liberación de gases dentro de dispositivos llamados digestores. Es un proceso por el que se lleva a cabo la depuración anaerobia por medio de la digestión de la materia orgánica
Tratamiento primario de aguas residuales		Conjunto de operaciones y procesos con los que se realiza una depuración física de los sólidos en suspensión no retenidos por el pretratamiento o desbaste. Los más conocidos son: filtración, tamizado, sedimentación, y flotación. Para mejorar el rendimiento se incluyen la coagulación floculación. En el caso de vertidos industriales suele emplearse como tratamiento

	primario para la neutralización y la oxidación reducción.
Tratamiento secundario o biológico de aguas residuales	Conjunto de sistemas y operaciones con objeto de eliminar la materia orgánica de las aguas residuales empleando las características de organismos vivos (aerobios o anaerobios). Entre las más comunes se encuentran: fangos activados, lechos bacterianos, biodiscos, biocilindros, digestión anaerobia, lagunaje, filtro verde, etc. la selección del tipo de tratamiento más efectivo dependerá de las características del proceso contaminador el volumen y los contaminantes existentes.
Tratamiento terciario de aguas residuales	En algunos casos, debido a la exigencia de calidad, uso o a una alta carga de contaminantes, no es posible conseguir una depuración aceptable, por lo cual se utilizan procesos complementarios tales como: coagulación, filtración, adsorción, intercambio iónico, etc.)
Usos del Agua	Las aplicaciones potenciales del agua, cada una con objetivos de calidad diferentes, se resumen en los usos siguientes: agua potable, para consumo público y doméstico, con fines comerciales, industriales, agrícolas, ganaderos, para actividades recreativas y de mantenimiento de la vida acuática y sus hábitats.
Vertido	Evacuación, inyección o depósito de aguas o productos residuales, efectuados deliberada y/o negligentemente de manera directa o indirecta, en los cauces, en el subsuelo o sobre el terreno y que son susceptibles de contaminar las aguas continentales o el mar.