



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

CURSOS INSTITUCIONALES

TRATAMIENTO, REUSO Y RECICLADO DE AGUAS RESIDUALES Y POTABLES

Del 29 de Julio al 09 de Agosto de 2002

APUNTES GENERALES

CI - 295

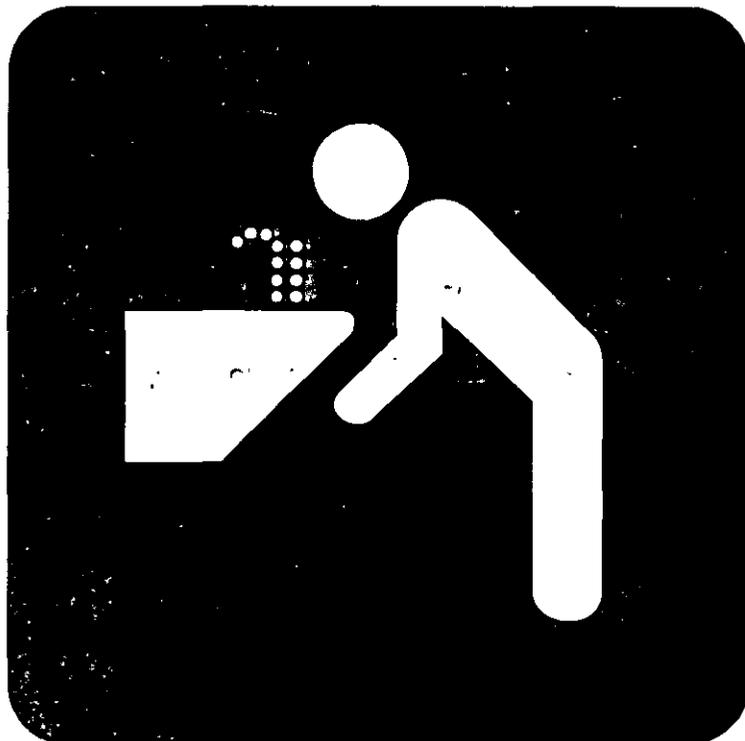
Instructor: Ing. Miguel Á Castillo Hoil
DGSU
Julio - Agosto del 2002

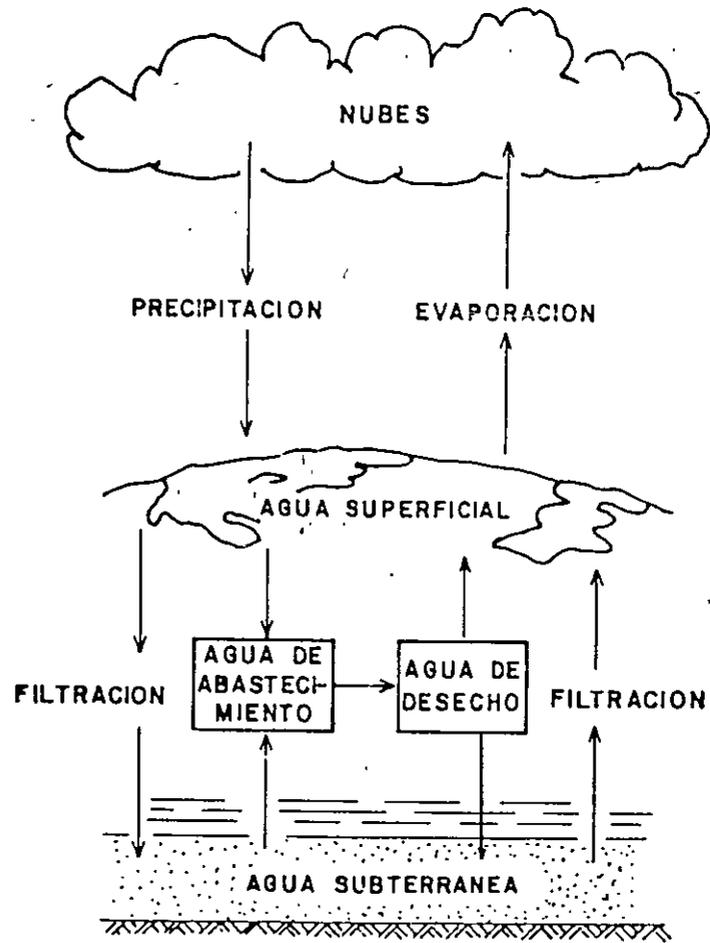
TRATAMIENTO DE AGUA

El agua es un compuesto químico constituido por 2 átomos de Hidrógeno y 1 de oxígeno y que se expresa por la fórmula H_2O .

Debido a sus propiedades es considerado como el solvente universal de todas las sustancias por lo que no se encuentra puro en la naturaleza. Cualquiera que sea su procedencia el agua contendrá impurezas en la solución o suspensión

El volumen del agua existente es una cantidad constante y por lo tanto, no es ampliable a su voluntad.





CICLO HIDROLOGICO

Origen y Características del Agua.

El agua puede provenir de 4 fuentes principales:

- Agua de lluvia y superficial
- Agua de manantiales y ríos
- Agua de pozos y perforaciones
- Agua de mar.

El agua de estas fuentes que no han recibido ningún tratamiento se le conoce como AGUA CRUDA, y debido a las impurezas que contiene para su uso deberá analizarse y tratarse en caso necesario.

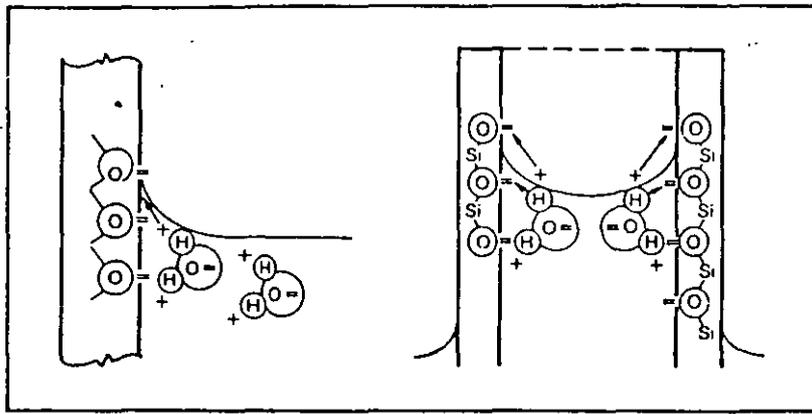
Alguna de las características del agua, por lo que se utiliza en la industria son:

- Entre las sustancias inorgánicas comunes tiene la más alta capacidad para absorber calor sin cambiar su temperatura.

- No sufre alteraciones químicas con calentamiento dentro del rango de temperatura encontrados.
- A la temperatura ambiente puede controlarse y hacerse fluir fácilmente.
- Su manejo no presenta riesgos.
- "Es aún abundante y barata".

Todo lo anterior se debe a que su estructura molecular es fuera de lo común para una molécula que tiene un peso molecular tan pequeño.

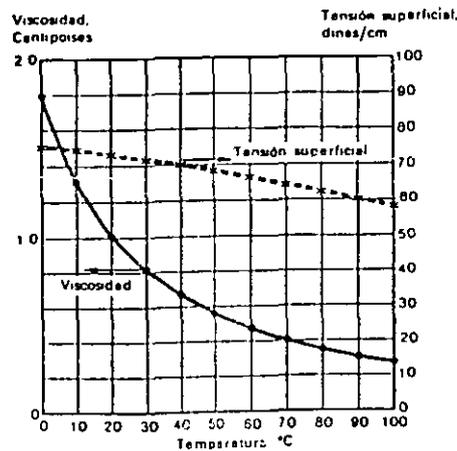
Un dipolo de una molécula de agua tiende a unirse a otra molécula análoga a través de sus polos contrarios formando un compuesto llamado dihidrol.



Se forma un menisco (izquierda) cuando los átomos de hidrógeno se mueven hacia arriba para humedecer la superficie del óxido en la línea de agua en un tubo de vidrio. El dibujo de la derecha muestra cómo los "puentes de hidrógeno" del agua en un tubo de vidrio delgado hacen que el agua en el tubo suba por arriba del nivel del agua que la rodea.



Una aguja de acero, con una densidad de aproximadamente siete veces la del agua, puede flotar debido a la elevada tensión superficial del agua.



La tensión superficial y la viscosidad descienden cuando el agua se calienta.

Impurezas del agua.

Las impurezas que se encuentran generalmente se pueden clasificar de la manera siguiente:

CLASIFICACION DE IMPUREZAS EN EL AGUA

1.- Sustancias en suspensión	a) Inorgánicas	Limo (0.05 - 0.002 mm) Arena (2 - 0.05 mm)
	b) Orgánicas	Material vegetal y animal
2.- Sustancias disueltas	a) Sales Inorgánicas	OH, CO ₃ , HCO ₃ , SO ₄ , Cl, NO ₂ , NO ₃ , H ₂ SiO ₃ , Na, K, NH ₄ , Ca, Mg, Fe, etc
	b) Sales orgánicas	
	c) Gases	CO ₂ , O ₂ , N ₂
3.- Impurezas Coloidales		Arcilla y sílice muy finamente dividida (0.002 mm), hidróxidos de hierro y aluminio, productos orgánicos residuales, ácidos húmicos, sustancias colorantes.

Todas estas impurezas son causas potenciales de problemas, por lo que se hace necesario su eliminación mediante un tratamiento adecuado.

El cuadro siguiente relaciona las principales impurezas del agua los problemas que pueden causar y algunos tratamientos para su eliminación.

IMPUREZAS DEL AGUA.

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION</u>			
TURBIEDAD	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	IMPARTE APARIENCIA INDESEABLE. CAUSA DEPOSITOS EN LINEAS, EQUIPOS DE PROCESO Y DE INTERCAMBIO DE CALOR.	COAGULACION, ASENTAMIENTO, FILTRACION.
<u>SOLIDOS EN SUSPENSION Y SOLIDOS DISUELTOS</u>			
COLOR	COMPUESTOS VARIOS SE EXPRESA EN UNIDADES	CAUSA ESPUMA EN CALDERAS. INTERFIERE EN ANALISIS COLORIMETRICOS, PUEDE TEÑIR O COLOREAR EL PRODUCTO EN ALGUNOS PROCESOS.	COAGULACION Y FILTRACION, CLORACION. ADSORCION POR CARBON ACTIVADO.
<u>SOLIDOS DISUELTOS</u>			
DUREZA	SALES DE CALCIO Y MAGNESIO EXPRESADA COMO CO_3 .	PRINCIPAL FUENTE DE INCRUSTACIONES EN EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, LINEAS Y TUBERIAS. FORMA GRUMOS CON EL JABON.	SUAVIZACION, DESMINERALIZACION, DESTILACION, TRATAMIENTO INTERNO, DISPERSION.
ALCALINIDAD	BICARBONATOS (HCO_3) CARBONATOS (CO_3) E HIDROXIDOS (OH)	ESPUMA Y ARRASTRES DE SOLIDOS EN LA PRODUCCION DE VAPOR. FRAGILIZACION DEL ACERO EN CALDERAS. LOS CARBONATOS Y BICARBONATOS PRODUCEN CO_2 AL CALENTARSE Y ESTE GAS ES CORROSIVO.	SUAVIZACION POR CAL-SODA. TRATAMIENTO ACIDO. DESALCALINIZACION POR INTERCAMBIO IONICO. DESTILACION.
ACIDEZ MINERAL	ACIDOS LIBRES (H_2SO_4 , HNO_3 Y HCl) EXPRESADOS COMO Ca CO_3 .	CORROSION GENERAL	NEUTRALIZACION CON ALCALIS
pH	CONCENTRACION DE IONES HIDROGENO (DEFINIDO POR $\text{pH} = \log \frac{1}{\text{H}^+}$)	EL pH VARIA DE ACUERDO A LA ACIDEZ O ALCALINIDAD DEL AGUA. AGUAS NATURALES OSCILAN DE 6.0 A 8.0.	pH DEBE SER REGULADO CON ALCALIS O ACIDOS (SUBIRLO O BAJARLO).

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
SULFATOS	$SO_4^{=}$	LAS SALES ALCALINAS TIENEN CARACTER CORROSIVO.	DESMINERALIZACION, DESTILACION OSMOSIS INVERSA.
CLORUROS	Cl^{-}	LAS SALES DE CALCIO Y MAGNESIO SON- INCRUSTANTES INCREMENTA LOS SOLIDOS DISUELTOS EN EL AGUA Y SU CARACTER- CORROSIVO. /	DESMINERALIZACION, DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
NITRATOS	NO_3^{-}	INCREMENTA SOLIDOS EN EL AGUA (PERO ALTAS CONCENTRACIONES SON RARAS) -- UTIL PARA CONTROLAR LA FRAGILIZA -- CION EN CALDERAS.	DESMINERALIZACION, DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
SILICE	SiO_2	INCRUSTACION Y DEPOSITOS EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO Y DE CALDERAS. VAPO- RIZACION EN LAS CALDERAS Y DEPOSI - TOS EN ALABES DE TURBINAS.	PROCESOS DE REMOSION EN CA -- LIENTE CON SALES DE MAGNESIO. ADSORCION POR RESINAS DE IN - TERCAMBIO IONICO FUERTEMENTE- BASICAS. DESTILACION Y OSMOSIS INVERSA.
FIERRO	Fe^{++} (FERROSO)	COLORACION Y PRECIPITACION EN EL -- AGUA. DEPOSITOS EN LINEAS, CALDERAS - ETC. ATACA LAS RESINAS DE INTERCAM-- BIO IONICO.	AEREACION, COAGULACION Y FIL-- TRACION, SUAVIZACION CON CAL.- INTERCAMBIO CATIONICO.
MANGANESO	Fe^{++} (FERRICO)	INTERFIERE EN ALGUNOS PROCESOS.	FILTRACION POR CONTACTO.
	Mn^{++}	MISMOS QUE EL FIERRO	MISMOS QUE PARA EL FIERRO.
ACEITES Y GRASAS	EXPRESADO COMO MA- TERIALES EXTRACTA- BLES POR CLOROFORMO.	DEPOSITOS, LODOS Y ESPUMADO EN CALDE RAS. IMPIDE LA TRANSMISION DE CALOR- INDESEABLE EN LA MAYOR PARTE DE PRO CESOS.	SEPARACION MECANICA, COAGULA- CION Y FILTRACION. FILTRA -- CION A TRAVES DE TIERRA DIA- TOMACEA.
<u>GASES</u>			
DIOXIDO DE CARBONO	CO_2	CORROSION EN LINEAS DE AGUA Y PAR - TICULARMENTE EN LINEAS DE VAPOR Y - CONDENSADO.	DEAREACION, NEUTRALIZACION - CON ALCALIS, USO DE AMINAS FIL - MICAS Y NEUTRALIZANTES.

IMPUREZA	FORMULA QUIMICA	DIFICULTADES Y PROBLEMAS	GUIA DE TRATAMIENTO
OXIGENO	O_2	CORROSION EN LINEAS DE AGUA, EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR, CALDERAS, RETORNO DE CONDENSADO.	DEAEREACION, ELIMINADORES DE OXIGENO (HIDRAZINA, SULFITO DE SODIO) INHIBIDORES DE CORROSION.
SULFURO DE HIDROGENO	H_2S	CAUSA OLOR A HUEVOS PODRIDOS. CORROSION GENERAL. VENENOSO.	AEREACION, CLORACION. INTERCAMBIO IONICO CON RESINAS FUERTEMENTE BASICAS.
AMONIACO	NH_3	CORROSION DEL COBRE, ZINC Y SUS ALEACIONES. FORMACION DE IONES SOLUBLES COMPLEJOS.	INTERCAMBIO CATIONICO. CLORACION. DEAEREACION.
CONDUCTIVIDAD	EXPRESADA EN MMHOS/CM	RESULTADO DE SOLIDOS IONIZABLES EN SOLUCION. UNA ALTA CONDUCTIVIDAD INCREMENTA LAS CARACTERISTICAS CORROSIVAS DEL AGUA.	CUALQUIER PROCESO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE SALES DISUELTAS. DESMINERALIZACION, DESTILACION. OSMOSIS INVERSA. ELECTRODIALISIS.
SOLIDOS SUSPENDIDOS.	VARIOS COMPUESTOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS ES LA CANTIDAD DE MATERIA EN SUSPENSION DETERMINADA POR GRAVIMETRIA. TAPAN LINEAS, CAUSAN DEPOSITOS EN EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR CALDERAS, CONDENSADORES, ETC.	DECANTACION, FILTRACION PRECEDIDA DE COAGULACION.
SOLIDOS TOTALES	VARIOS COMPUESTOS	SUMA DE SOLIDOS DISUELTOS E INSOLUBLES. SE DETERMINA POR GRAVIMETRIA.	COMBINACION DE METODOS ARRIBA MENCIONADOS.
MATERIA ORGANICA	VARIOS COMPUESTOS	CORROSION, DEPOSITOS Y ESPUMA (EN CALDERAS). CONTAMINA LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.	CLORACION

Análisis del agua

El análisis del agua es un análisis físico-químico que se efectúa para valorar su calidad para su utilización.

Las principales impurezas del agua, las constituyen los sólidos disueltos disociados en partículas con carga positiva (CATIONES) y partículas con carga negativa (ANIONES).

Los cationes más comunes en el agua son: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}) y Sodio (Na^+) y menos comunes el Hierro (Fe^{++} o Fe^{+++}) y el Manganeseo (Mn^{++}).

Los aniones más comunes en el agua son: Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonatos (CO_3^{--}), Cloruros (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{--}), Nitratos (NO_3^{--}) y en aguas contaminadas, los Nitritos (NO_2^-)

La Sílice es otro anión que se encuentra presente en forma de silicatos solubles y en ocasiones en estado coloidal.

Otras impurezas importantes, son los gases disueltos, como el bióxido de carbono (CO_2) el Oxígeno (O_2), el Acido Sulfhídrico (H_2S) el Metano (CH_4) y el Amoniáco (NH_3).

Los problemas de corrosión y de incrustación o depósitos debidos a las impurezas del agua, se deben a cuatro factores.

- La solubilidad de cada impureza
- La temperatura
- La alcalinidad o acidez del agua (pH)
- Las condiciones de oxidación o reducción presentes.

Cuando el agua se evapora, las impurezas se concentran y se depositan cuando se excede el límite de solubilidad, debido a la temperatura o al pH.

Basándose en la solubilidad, los minerales comunes en las aguas naturales, se pueden tener cuatro grupos:

- Compuestos de Calcio y Magnesio
- Compuestos de Sodio

- Sílice
- Compuestos de Hierro y Manganeso

La Solubilidad de los diferentes Compuestos son afectados por varios factores:

Compuesto	Factor	Efecto
Sales de Calcio y Magnesio.	Temperatura del agua	Disminuye la solubilidad y la alcalinidad también disminuye.
		Aumenta el CO ₂ .
Sales de Na	Temperatura	Aumenta
Oxidos de Fe y Sílice	Temperatura	No varía sensiblemente
Sílice	Alcalinidad	Aumenta

Con relación a los gases disueltos en el agua (Oxígeno, Dióxido de Carbono, Amoníaco) depende:

- Su reacción química con el agua, o su presencia como gas libre.
- Su presión parcial en el agua y en la atmósfera que lo rodea.
- La temperatura del agua

Así tenemos:

Gas	Factor	Efecto
Oxígeno	No se ioniza	Se disuelve y se remueve mecánicamente por de areación o común eliminador químico.
Bióxido de Carbono y Amoniaco.	Están ionizados	Eliminación en forma de neutralización.

Como las impurezas que se encuentran en el agua, están en cantidades muy pequeñas, el resultado de un análisis se expresa en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb), en vez de expresarlas en porcentos.

Una parte por millón significa una parte de la substancia en un millón de partes de agua, independientemente de la unidad de peso que se utilice. Ejem:

1 gramo en 1 millón de gramos.

1 libra en 1 millón de libras.

Considerando que la densidad del agua es de 1 gr/ml, entonces:

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/lt}$$

$$= 1 \text{ gr/m}^3$$

entonces la ppb será mil veces menor, es decir:

$$1 \text{ ppb} = 1 \text{ mg/m}^3$$

Algunas equivalencias de estas unidades para análisis químicos son:

$$1 \text{ ppm} = 0.0583 \text{ grano/U.S. galón}$$

$$1 \text{ grano/U.S. gal} = 17.1 \text{ ppm.}$$

Para facilitar el manejo aritmético de los resultados de los diversos análisis del agua, se suelen convertir a una base común.

Generalmente se utiliza el Carbonato de Calcio (CaCO_3) cuyo peso Molecular es 100.

Reportados los resultados de esta manera, en términos de CaCO_3 se pueden sumar o restar directamente. Sin embargo, la tendencia es a expresar los resultados de un análisis químico es en equivalentes por millón (epm). Estos se obtienen dividiendo las ppm entre su peso equivalente (El peso equivalente se obtienen dividiendo su Peso Molecular entre su valencia). En caso de estar expresada en términos de CaCO_3 , se dividirá entre 50, que es su peso equivalente.

Se muestra enseguida un análisis típico de un agua de pozo.

Química

Determinó _____

Revisó _____

Fecha _____

No. _____

PRUEBA POZO No. 3

C A R A C T E R E S F I S I C O S

Turbidez	Sedimento	Color
C A T I O N E S		
	EN TERMINOS DE	P. P. M.
Calcio (Ca+ +)	CaCO ₃	160
Magnesio (Mg+ +)	CaCO ₃	112
Sodio (Na·l·)	CaCO ₃	288.88
TOTALES	CaCO₃	560.88
A N I O N E S		
Bicarbonatos (HCO ₃)	CaCO ₃	90
Carbonatos (CO ₃ =)	CaCO ₃	0
Hidróxidos (OH=)	CaCO ₃	0
Sulfatos (SO ₄)	SO ₄	288
Cloruros (CL=)	CL	48
Nitratos (NO ₃)	NO ₃	128
TOTALES	CaCO₃	560.88
D E T E R M I N A C I O N E S		
Dureza Total	CaCO ₃	272
Dureza de no Carbonatos	CaCO ₃	182
Dureza de Carbonatos	CaCO ₃	90
Alcalinidad a la Fenolftaleina	CaCO ₃	0
Alcalinidad al Anaranjado de Metilo	CaCO ₃	90
Anhidrido Carbónico Libre	CO ₂	-
Fosfatos (PO ₄ =)	PO ₄	-
Sulfitos (SO ₃ =)	CO ₃	-
Fierro	Fe	-
Sílice	SiO ₂	52
Materia Orgánica	O ₂	-
Sólidos Totales Disueltos	CaCO ₃	647.72
Conductividad Específica	Micromhos	1120

pH 7.6

OBSERVACIONES:

En el agua cruda, generalmente, toda la alcalinidad presente se debe a Bicarbonatos (M).

- La conductividad específica es una medida de la conducción de la corriente eléctrica del agua y está relacionada directamente con la cantidad de Sólidos disueltos. Se expresa en mmhos (micromhos/cm a 25°C).
- El pH determina la acidez o la alcalinidad del agua si expresa de 0 a 14.

Un pH de 7 corresponde a un agua neutra. Si el valor se desplaza a cero indica acidez y si se desplaza a 14 indica alcalinidad.

Con relación a algunas determinaciones comentaremos lo siguiente:

- La Dureza Total ($\text{CaCO}_3 = 272 \text{ ppm}$) representa el contenido de Calcio y Magnesio ($160 + 112$)
- El Contenido de Magnesio, se obtiene restando el Calcio a la Dureza Total ($272 - 160 = 112$)
- La Dureza de Carbonatos representa la cantidad de Ca y Mg que se encuentra combinada con los Carbonatos y Bicarbonatos presentes en el agua.
- La Dureza de No Carbonatos representa la cantidad de Ca y Mg combinada con los ácidos minerales (Cloruros de Sulfatos, etc.). Se obtiene al restar a la Dureza Total la Dureza de Carbonatos ($272 - 90 = 182$).
- Las alcalinidades a la fenolftaleína (F) y al anaranjado de Metilo (M) representan la cantidad de carbonatos y bicarbonatos presentes, respectivamente ($F = 0$ y $M = 90$).

TRATAMIENTO EXTERNO DEL AGUA

Las impurezas del agua ocasionan problemas de corrosión e incrustación, principalmente en los equipos de intercambio de calor y en tuberías, causando pérdidas de eficiencia y fallas en los equipos, con los consiguientes paros costosos por reemplazos de partes, reparaciones, además de la falta de suministro que se cause.

Para depurar el agua, generalmente es preciso utilizar uno o combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas y, cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar, la materia en suspensión, después las coloidales y por último las sustancias disueltas (minerales u orgánicas).

Finalmente se corregirán ciertas características.

Todo esto dependerá de:

- La calidad del agua disponible
- El uso del agua acondicionada o tratada
- La calidad necesaria de esta agua a utilizar.

Lo anterior se el conoce como "tratamiento externo del agua".

Algunos de los tratamientos elementales a mencionar, son:

- Decantación o flotación
- Filtración
- Coagulación y floculación
 - Cal - Coagulante en frío
 - Cal - Carbonato en caliente
- Suavización
- Desmineralización

- Separación por membranas
 - Osmosis inversa
 - Ultrafiltración
 - Electrodialisis
- Destilación o Evaporación

Existen más tratamientos y la sofisticación y complejidad, dependerá de la calidad del agua, tanto de la disponible a tratar como de la que se va a utilizar.

La presencia en el agua cruda, de diversas sustancias sólidas constituyen indudablemente, la parte más importante y aparente de la contaminación. Esta parte sólida deberá eliminarse para evitar grandes inconvenientes, como son: la obstrucción de conducciones, equipos de intercambio, abrasión de bombas, equipo de medición, etc.

La separación de estas partículas sólidas puede hacerse de 2 maneras:

- Decantación o flotación
- Filtración o tamizado.

En el proceso de decantación se aprovecha la acción directa de la pesántez, por simple decantación en función del grosor y del peso específico de las partículas, o por flotación, ^{se fijan} fijando sobre las partículas burbujas de aire sistemáticamente introducidas en la suspensión.

Puede acelerarse artificialmente el primer proceso, mediante la intervención de la fuerza centrífuga (hidrociclones o centrifugadoras).

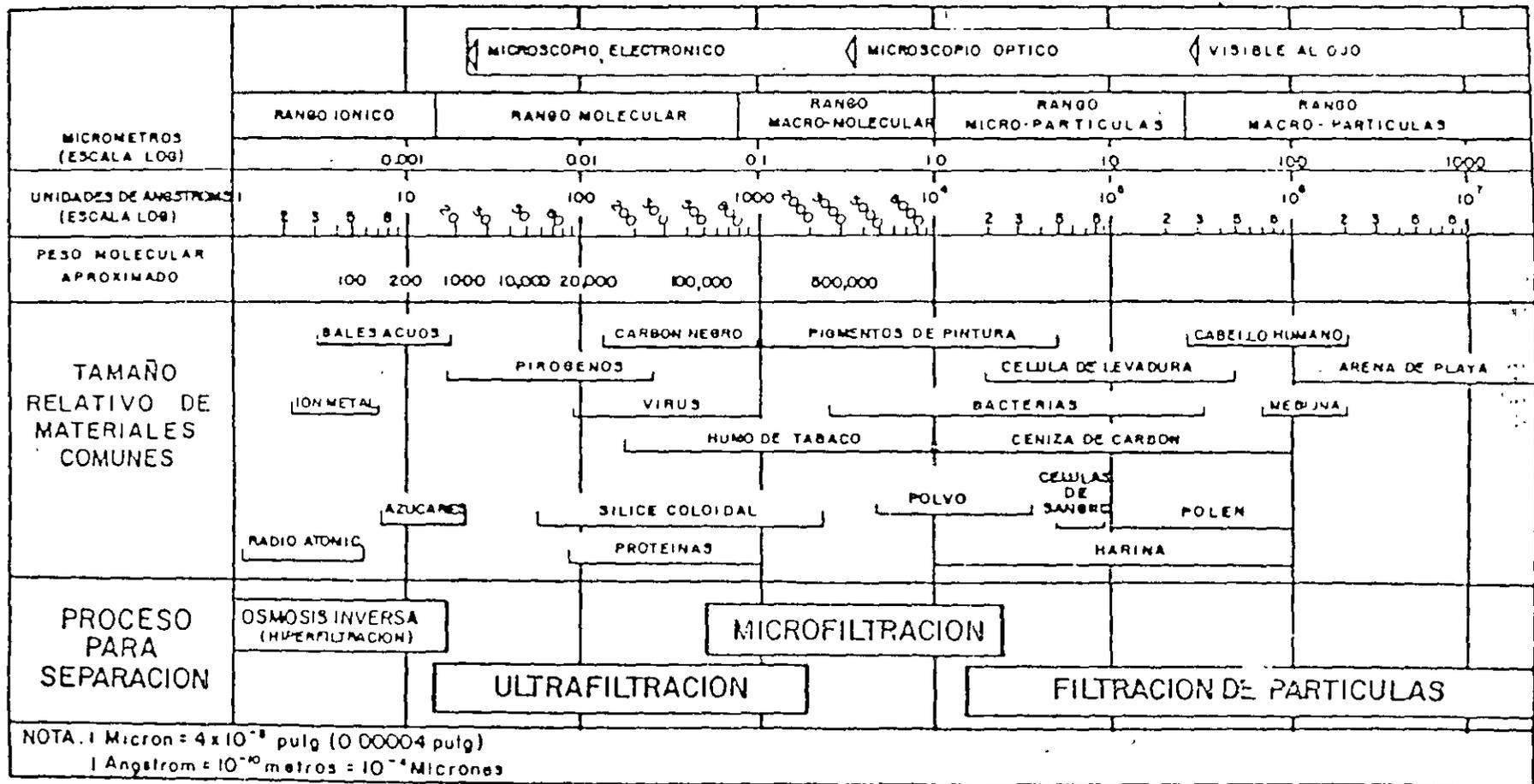
Aparentemente, es muy sencillo lo anterior, sin embargo, se tropieza con la gran dificultad debida a la gran dispersión del tamaño de las partículas (incluso para un determinado tipo de contaminación).

El cuadro siguiente, relaciona ciertos materiales y organismos, con su tamaño medio, así como el orden de magnitud del tiempo necesario para que estas partículas recorran verticalmente un metro de agua, únicamente por la influencia de su peso.

Diámetro de la partícula (mm)	Material	Tiempo de sedimentación para 1m (orden de magnitud)
10	Grava	1 segundo
1	Arena	10 segundos
0.1	Arena fina	2 minutos
0.01	Arcilla	2 horas
0.001	Bacteria	8 días
0.0001	Partícula Coloidal	2 años
0.00001	Partícula Coloidal	20 años

En efecto, un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas del orden de una micra, aunque estas partículas pesen, en total, menos de 0.1 mg.

EL ESPECTRO DE FILTRACION :



FILTRACION

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos (filtrado).

Si las materias en suspensión que deben separarse tienen una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidas en la superficie del filtro. La filtración, en este caso, se denomina superficial o en torta o sobre soporte. En caso contrario de que las materias queden retenidas en el interior de la masa porosa, la filtración se denomina en volumen, en profundidad o sobre lecho filtrante.

La misión de los filtros es retener, en la superficie o en el seno de la masa filtrante, las partículas que contiene un líquido.

La "filtración sobre la superficie" se efectúa:

- A través de un soporte delgado de mallas, desbaste por rejas, tamizado, microtamizado, filtro prensa, filtro prensa al vacío, etc.
- A través de un soporte grueso, filtros de material aglomerado o sintetizado o de cartuchos.
- A través de soporte con precapa filtros de bujías, de bastidores, discos o tambores, etc.

La "filtración a través de un lecho filtrante" se efectúa cuando la cantidad de materias que deben retenerse es grande y la dimensión de las partículas contenidas en el agua, es relativamente pequeña, es decir, es preciso que la materia pueda penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie.

Para lograr esto, es necesario elegir cuidadosamente él o los materiales, tanto en su granulometría como en la altura de la capa, para lograr obtener la calidad del agua deseada.

Si sólo se desea reducir los sólidos en suspensión, esta filtración (lenta o rápida) será suficiente, pero si se desea eliminar, en caso de haber coloración o materia orgánica será necesario un pretratamiento.

Cuando la filtración es rápida y se desea obtener una clarificación óptima, es necesario acondicionarla previamente, por adición de reactivos con o sin decantación.

Un filtro se atasca a medida que su lecho, se carga de materias retenidas. Cuando el atascamiento es excesivo o la calidad del filtrado no es aceptable, debe procederse al lavado del lecho filtrante, Con este lavado, el lecho filtrante debe recuperar sus cualidades iniciales de filtración; sin las cuales, el filtro irá perdiendo eficacia y el material filtrante deberá retirarse para su limpieza completa o su reemplazo.

Un reparto uniforme del agua en el interior del filtro a través de la masa filtrante es muy importante, así como el sistema de soporte del lecho filtrante.

Dependiendo de las características de las partículas que deben retenerse, la filtración puede efectuarse a través de una capa de mayor o menor altura:

- De material homogéneo.
- De dos o varias capas de material de diferentes granulometrías de material homogéneo a cada nivel.
- Sobre una o varias capas de diferentes granulometrías totalmente heterogénea y escalonada.

La eficacia de un filtro depende, fundamentalmente de:

- La regulación de su caudal.
- Evitar fluctuaciones de sus flujos.
- Evitar golpes de arriete.

Todo esto durante la operación y lavado.

No existe un filtro universal.

Para cada problema se hará un diseño adecuado.

En la elección de un filtro es muy importante asegurarse de tener un lavado fácil, eficaz y económico, así como la obtención de la mejor calidad de agua filtrada, ya que ésta agua, sólo se obtendrá, de forma constante, si el lavado mantiene siempre intacto el material filtrante.

FILTROS A PRESIÓN

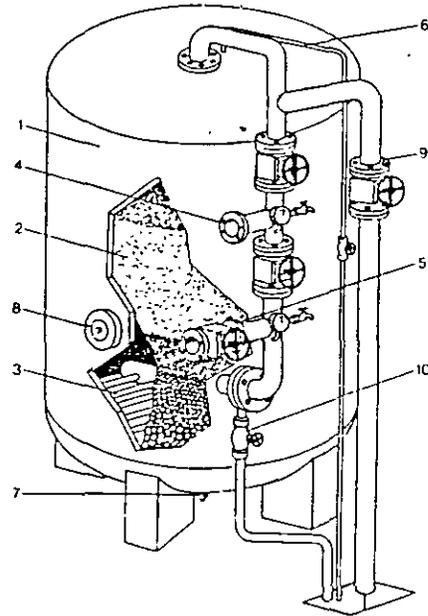
Estos filtros son, generalmente, metálicos.

Filtros verticales lavables sólo con agua

Van equipados con materiales filtrantes cuya granulometría y densidad deben elegirse de acuerdo con la velocidad de retorno de agua de lavado, que es necesario prever para su expansión. La capa filtrante descansa sobre un soporte de lechos sucesivos de materiales de granulometría creciente hacia abajo y la toma de agua filtrada se efectúa por un colector ramificado perforado, embebido en la capa de granulometría mayor.

En la mayoría de los casos, la capa filtrante es única, arena o antracita.

- 1 - Cuerpo del filtro.
- 2 - Masa filtrante.
- 3 - Colector.
- 4 - Entrada de agua bruta.
- 5 - Salida de agua filtrada.
- 6 - Purga de aire.
- 7 - Vaciado.
- 8 - Agujero de mano.
- 9 - Salida de agua de lavado.
- 10 - Envío eventual de las primeras aguas filtradas



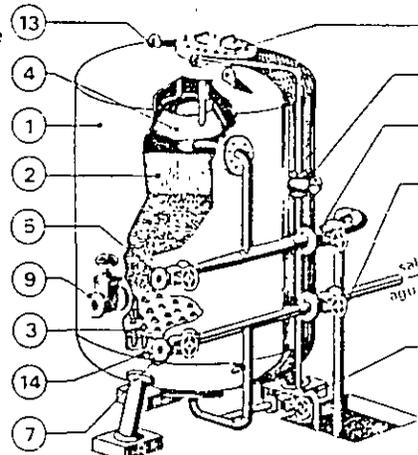
Filtro cerrado a presión, con lavado por retorno de agua.

Filtros verticales lavables por aire y agua

FILTROS CON CAPA ÚNICA HOMOGÉNEA, LAVADOS SIMULTÁNEAMENTE

El lecho filtrante, homogéneo en toda su altura, descansa sobre el fondo metálico perforado, al cual se fijan unos anillos en los que van rosadas las boquillas metálicas o de plástico, según la naturaleza y la temperatura del líquido a filtrar.

- 1 - Cuerpo del filtro.
- 2 - Masa filtrante.
- 3 - Falso fondo con boquillas.
- 4 - Arqueta de alimentación.
- 5 - Entrada de agua bruta.
- 6 - Salida de agua filtrada.
- 7 - Entrada de agua de lavado.
- 8 - Salida de agua de lavado.
- 9 - Entrada de aire de lavado.
- 10 - Purga de aire.
- 11 - Vaciado y purga de aire.
- 12 - Agujero de hombre.
- 13 - Asa para elevación y carga.



Filtro tipo FV 2 B.

3 4 4. ELECCIÓN DE BOQUILLAS COLECTORAS FILTRANTES PARA EL LAVADO DE FILTROS RAPIDOS

Según la forma de lavado, existen dos tipos de boquillas colectoras que se fijan en el falso fondo:

- boquillas para el lavado sólo con agua:

Estas boquillas se diferencian por su forma, la anchura de sus ranuras y el material con que están fabricadas.

- boquillas para lavado con agua y aire:

La repartición del aire se realiza

— por un colector ramificado perforado, dispuesto bajo el falso fondo con boquillas tipo D 13 (fig 162) que permiten el paso de la mezcla agua-aire.

— mediante un colchón de aire, utilizando boquillas de cola (figs 164 a 167) especialmente concebidas para este uso, con las que se obtiene una perfecta equirrepartición del aire y del agua

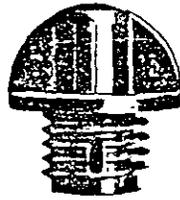


Fig 162 —
Boquilla D 13 de
material plástico.

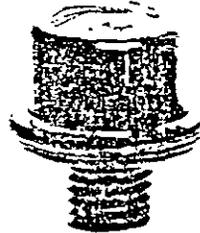


Fig 163 —
Boquilla D 15 de
material plástico.

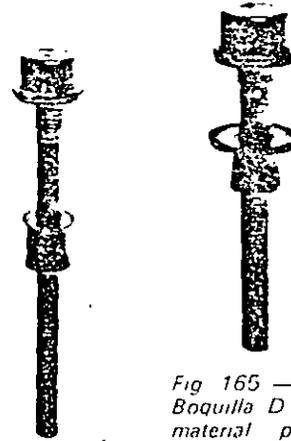


Fig 165 —
Boquilla D 25 de
material plástico,
con anillo de fija-
ción para falso
fondo metálico

Fig 164. — Boquilla D 20 de material plástico con casquillo de empotramiento para falso fondo de hormigón.

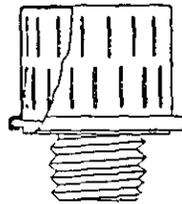


Fig 156 — Boquilla D 50.
metálica.

Fig. 167. — Boquilla D 50,
metálica, de cola larga

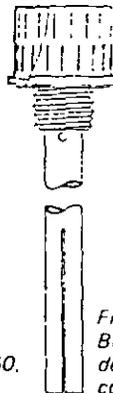
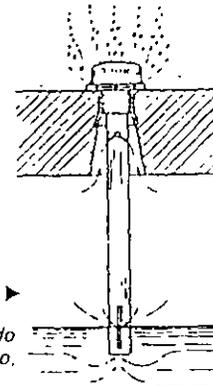


Fig 168 —
Boquilla en periodo
de lavado de filtro,
con aire y agua



COAGULACION Y FLOCULACION

Para permitir la separación de una suspensión coloidal en condiciones de velocidad satisfactorias por su pesantes, es necesario aglomerar los coloides para formar partículas de tamaño mucho mayor.

Esta aglomeración se efectúa por medios artificiales, que resulta de dos acciones diferentes:

- Una desestabilización, producida generalmente, por la adición de reactivos químicos, que anulan las fuerzas repulsivas o actúan sobre la hidrofilia de las partículas coloidales.
- Una aglomeración de los coloides “descargados”, hasta la obtención de un tamaño de 0.1 micra aproximadamente y después por agitación mecánica, las conduce a un tamaño suficiente de los flóculos

A la primera acción de desestabilización se le denomina COAGULACION y a la segunda acción, de aglomeración de los coloides descargados se le denomina FLOCULACION.

Los reactivos correspondientes serán "coagulantes" y "floculantes" respectivamente.

La separación sólido - líquido del floculo formado y del agua puede hacerse por filtración, por decantación o flotación y filtración (opcional).

PRINCIPALES COAGULANTES

Los Coagulantes principalmente utilizados son las sales de Aluminio o de hierro. Se usan también productos sintéticos como los polielectrolitos catiónicos.

Todos estos productos químicos actúan sobre los coloides del agua por medio del agua por medio del catión (+) que neutralizan los coloides negativos. Los polielectrolitos catiónicos pueden trabajar solos o mezclados con una sal metálica.

Coagulantes Comunes Metálicos

Nombre	Fórmula
Sulfato de Aluminio (Alumbre)	$\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
Cal	$\text{Ca} (\text{OH})_2$
Cloruro Férrico	$\text{Fe} \text{Cl}_3 - 6\text{H}_2\text{O}$
Sulfato Férrico	$\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$
Sulfato Ferroso (Caparrosa verde)	$\text{Fe} \text{SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
Aluminato de Sodio	$\text{Na}_2 \text{Al}_2 \text{O}_4$

Polímeros orgánicos

Clase	Peso Molecular
1.- Coagulantes Catiónicos:	Abajo de 100 000
Poliaminas	
Policuaternarios	
Poli cloruro de dialil-dimetil amonio	
Epi dimetil amina	
2.- Floculantes Catiónicos	Arriba de 1 000 000
Copolímeros de Acril amida y dimetil- amino etil-metacrilato	
Acril amida y CD ADMA	
Aminas MANICH	
3.- Floculantes no iónicos	Arriba de 1 000 000
Poli acrilamidas	
4.- Floculantes aniónicos	Arriba de 1 000 000
Poliacrilatos	
5.- Copolímeros de acrilamida y acrilato	Arriba de 1 000 000

Los Coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre.

A diferencia de las sales inorgánicas, los polímeros no producen flóculos voluminosos ni gelatinosos. Tampoco afectan al pH, ni su desempeño es sensible al pH del agua tratada.

De la floculación:

Una vez formado el flóculo por la acción del coagulante, será necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión.

Esto se logrará si existen las condiciones siguientes:

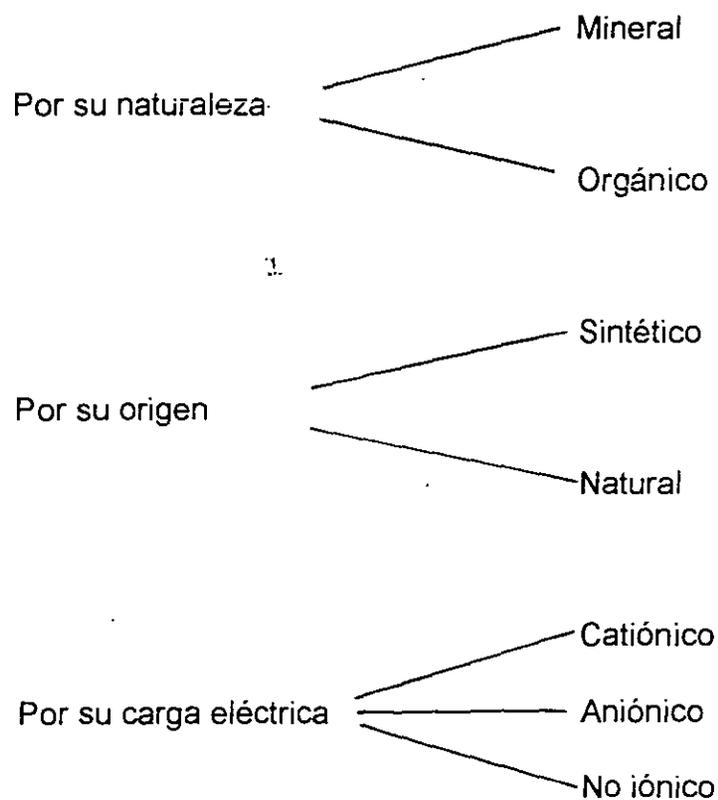
- Una coagulación previa, tan perfecta como sea posible.
- Un incremento de la cantidad de flóculos en el agua.

Para lograr esto, se recirculan los lodos formados, para poner en contacto el agua con los precipitados ya formados.

- Una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de mejorar el contacto.
- El uso de floculantes.

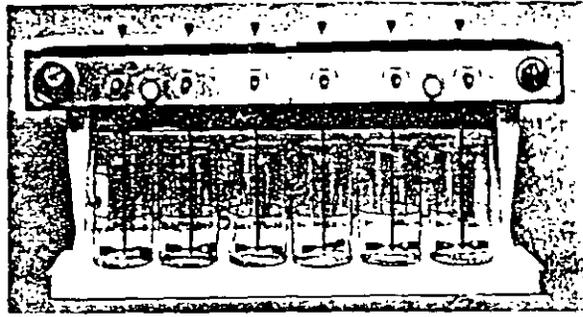
Estos son también llamados “ayudantes de coagulación”, “ayuda floculantes”.

Estos productos, pueden ser:

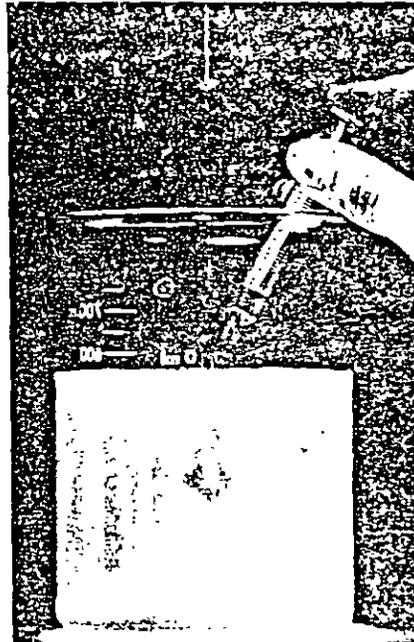


La sílice activada fue el primer floculante que se empleó y hasta la fecha en algunos casos el que mejor resultado puede dar, en particular, si se utiliza junto con el sulfato de alúmina.

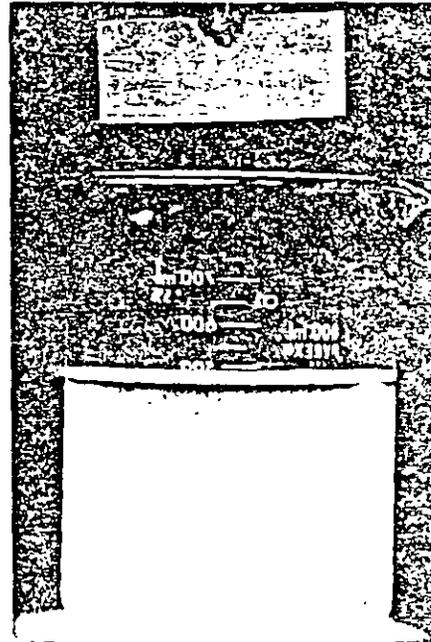
La elección de coagulante y del floculante se hará después de un estudio de laboratorio para determinar la naturaleza y las dosis de reactivos para el tratamiento de un agua en particular.



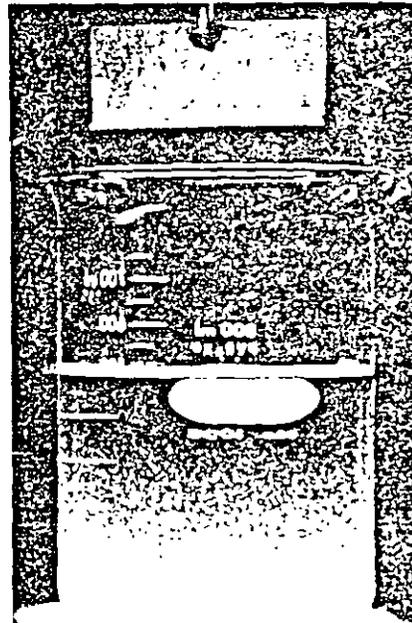
Floculador HYDROCURE de accionamiento eléctrico, con variador de velocidad y aparato de relojería.



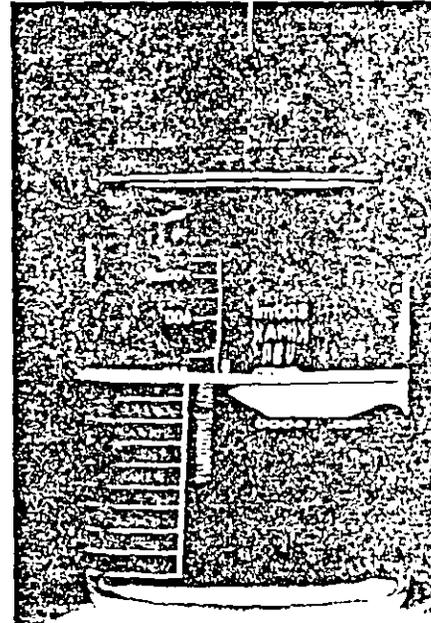
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Una cantidad de coagulante se introduce con un alto grado de mezclado en una muestra de agua turbia (b) Después de la adición del coagulante el crecimiento de la partícula se debe a la neutralización de la carga. Entonces puede añadirse más coagulante o un floculante de peso molecular elevado (c) Después de la floculación, que debe llevarse a cabo con una velocidad baja de agitación—de 10 a 15 rpm, por ejemplo—, se examina la muestra después de un intervalo de tiempo establecido. Obsérvese el floculo fino que escapo de ser capturado por el floculo mayor. (d) Después de 5 a 10 minutos de asentamiento se examina y prueba el sobrenadante y puede registrarse la naturaleza y el volumen del floculo. En algunos casos el floculo es usado en la siguiente serie de pruebas de la jarra

PRECIPITACION

Una vez que el agua ha sido extraída de su fuente, donde pudo haberse encontrado en un estado de equilibrio, suele exponerse a bombeo, aereación, calentamiento, etc., que pueden cambiar su estabilidad y producir corrosión o incrustación. Esto puede conocerse encontrando el Índice de Estabilidad del agua. Un factor importante para este cálculo es el producto de solubilidad del Carbonato de Calcio (CaCO_3) y la concentración de ciertos iones en el agua.

El proceso de precipitación emplea el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es considerado perjudicial y que, por lo tanto, debe ser eliminado antes de utilizar el agua. El caso más común es la reducción de la concentración de iones de Calcio⁺⁺ y Magnesio⁺⁺ por precipitación como CaCO_3 y $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Por precipitación química se entiende, la formación por la acción de los reactivos apropiados de Compuestos insolubles de los elementos indeseables.

El mecanismo de la precipitación del Carbonato cálcico y el hidróxido de magnesio; para el primer caso (CaCO_3), la reacción de la cal sobre el agua cruda es extraordinariamente lenta, en ausencia de "gérmenes de cristalización". Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su equilibrio en unos minutos.

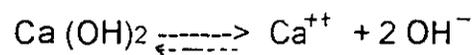
Esto se efectúa, si la superficie de los cristales de CaCO_3 se encuentra suficientemente limpia. La presencia de coloides orgánicos puede impedir la cristalización, para evitar estos se añaden coagulantes y floculantes para eliminarlos.

CAL-COAGULANTE EN FRIO

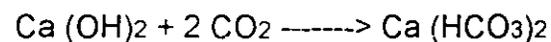
Este tratamiento se efectúa a temperatura ambiente, elimina la turbidez, el color y materia en suspensión, por esto, se les denomina a los equipos de este tratamiento floculadores y clarificadores también.

La dureza constituida por las sales de Ca y Mg, son reducidas en este tratamiento, por el proceso de precipitación, que predomina en este tratamiento, como CaCO₃.

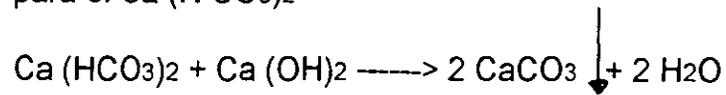
Puesto que la alcalinidad de casi toda el agua cruda esta formada por bicarbonatos y generalmente contiene CO₂, la precipitación del Carbonato de Calcio requiere la conversión del CO₂ y del HCO₃, de acuerdo con las siguientes reacciones químicas:



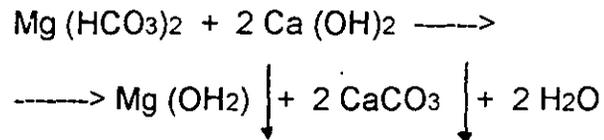
para el CO₂:



para el Ca (HCO₃)₂



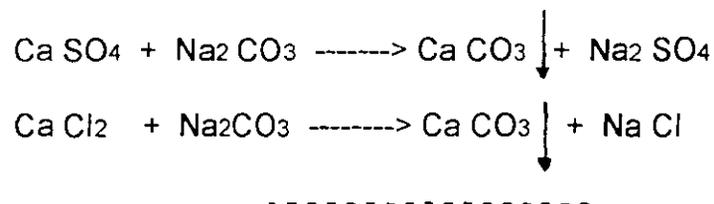
para el Mg (HCO₃)₂

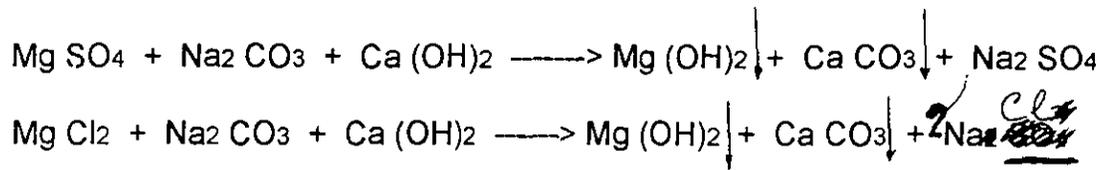


De esta manera, se han convertido las sales solubles a sales insolubles (precipitado que se separa por asentamiento).

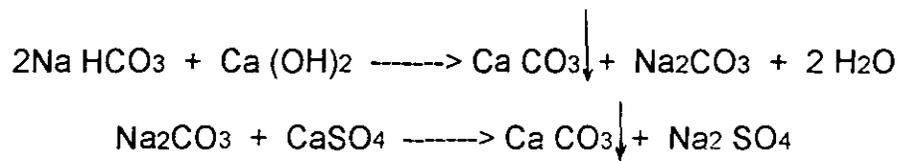
Dado que la dureza de Ca y Mg puede ser "de Carbonato" o "no Carbonato", las reacciones anteriores convirtieron la "dureza Carbonato".

La "dureza no Carbonato" esta dada por las sales de Ca y Mg, derivadas de ácidos minerales (sulfatos, cloruro, nitratos...). Esta se reduce, mediante la adición de carbonato de Sodio (Na₂CO₃), de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:





Cuando existe alcalinidad de Sodio en el agua cruda, se elimina mediante la adición de Yeso (CaSO_4) y Cal (Ca (OH)_2):



La cal reacciona con el bicarbonato de Sodio, precipitando Carbonato de Calcio y el Carbonato de Sodio formado reacciona con el Yeso para dar nuevamente Carbonato de Calcio (precipitado) y sulfato de sodio.

Se observa que al final quedo sulfato de sodio, en vez del bicarbonato de Sodio inicial, pero en la mayoría de los casos el Na_2SO_4 es menos problema que el Na HCO_3 .

En este tipo de tratamiento de agua, se puede lograr:

- Reducción de la dureza de Calcio hasta de 35 ppm como la CO_3 .
- Reducción de la dureza de Magnesio hasta cualquier valor deseado.
- Reducción de la alcalinidad total hasta 35 ppm como CaCO_3 .
- Reducción de los sólidos totales disueltos en proporción igual a la reducción de la alcalinidad y de la dureza de Carbonatos.
- Eliminación total del bióxido de carbono.

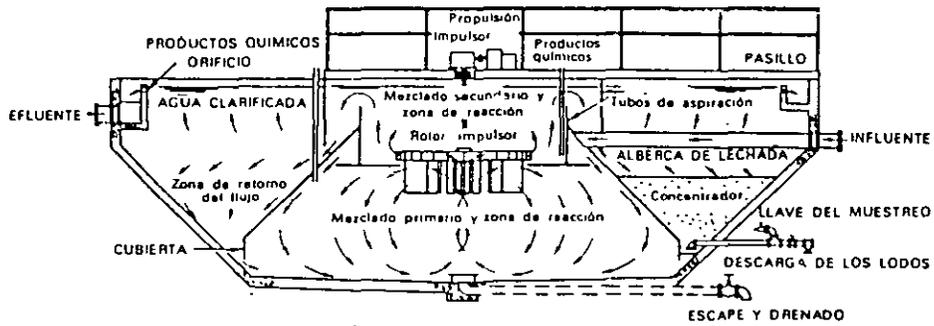
En este tipo de tratamiento, es necesario el uso de coagulantes, para lograr una mejora en el tiempo de asentamiento de los productos de reacción insolubles.

Los equipos de tratamiento de Cal-coagulante en frío, según su forma de operación pueden ser:

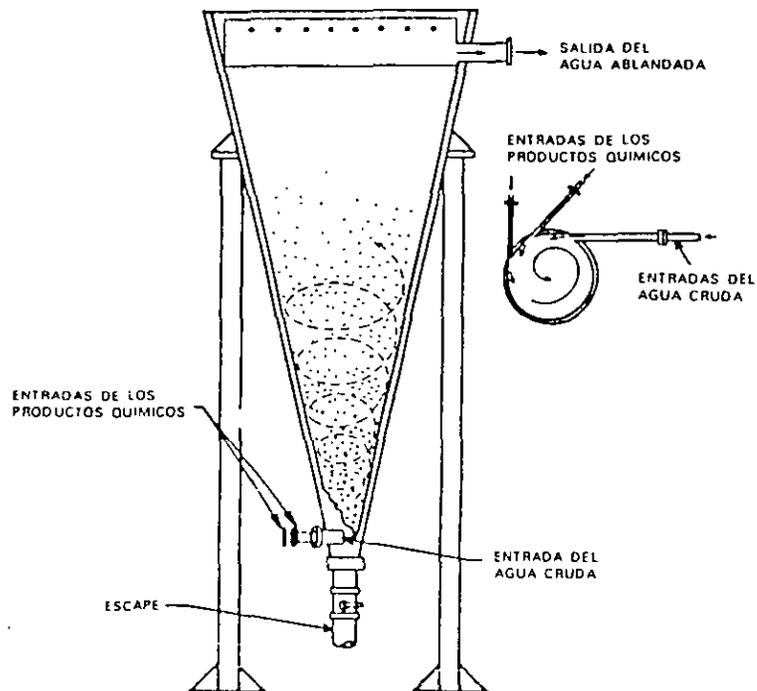
TIPOS DE TRATAMIENTO CAL-COAGULANTE EN FRIO SEGUN SU FORMA DE OPERAR

EQUIPO	OPERACION	OBSERVACIONES
<p>- Intermitente</p>	<p>Método de llenado y vaciado, varios tanques. Uno en limpieza y los demás en operación. Operación sencilla. Efluente sobre saturado de Ca CO₃. Se usa para plantas pequeñas.</p>	<p>Adición de agua cruda y prod. químicos simultánea. Agitación y reposo para sedimentación. (4 a 8 horas). Bajo Costo inicial. Mucha supervisión. Mayor espacio (En desuso).</p>
<p>- De Sedimentación continua (llamado también CONVENCIONAL).</p>	<p>Adición de agua cruda y prod's químicos en forma continua. Un sólo tanque, alto fondo plano, con un cilindro central. Dosificadores en seco o en solución. Agitación lenta para buena formación de flóculos, que precipitan. Estos se recirculan para ayudar a la formación de flóculos más grandes. El efluente debe ser tratado para su estabilización. (adición de gas carbónico o con ácido para evitar la formación de Ca CO₃).</p>	<p>Agua y prods. químicos encuentran por arriba al cilindro central, hacia abajo, forma lodos y el flujo cambia de sentido hacia arriba, produciendo agua de buena calidad (4 horas aprox.), pasando por el colchón de lodos formando. Es de fácil adaptación, control y mantenimiento aunque necesita espacio, costo de construcción relativamente alto. Necesita estabilización.</p>

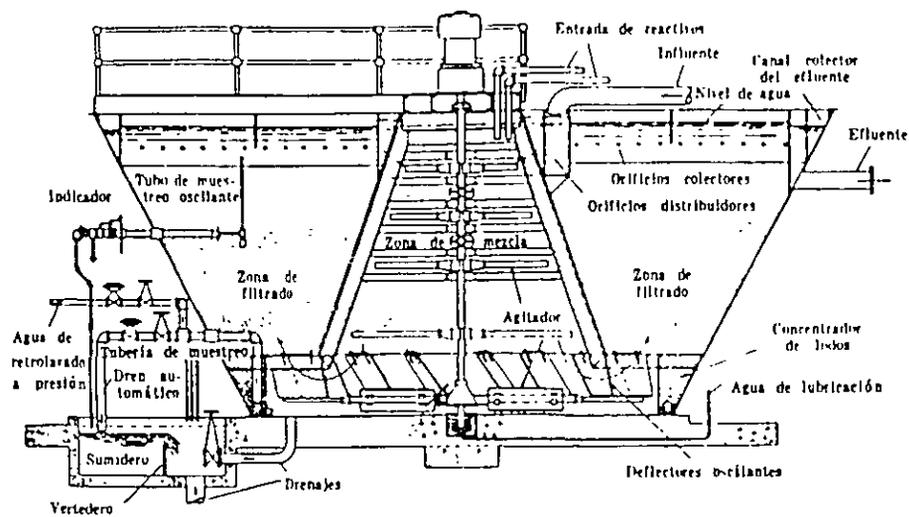
<p>- De colchón de Lodos o de Contacto de Lodos</p>	<p>Cristalización de una solución saturada a través de un colchón de lodos. Aprovechamiento máximo de los prod's químicos. La operación puede tener un grado alto de automatización.</p> <p>El nivel de lodos, se mantiene mediante purgas.</p> <p>El efluente no se sobresatura de Ca CO_3, se logra 10 ppm de turbidez. (filtración a través del colchón de lodos).</p>	<p>El agua cruda se mezcla perfectamente con los prod's químicos (cal, carbonato y coag.), reacciona y <u>pasa a través del colchón de lodos.</u> Requiere de 1 hora aprox. Unidades más compactas.</p> <p>Diseño vertical y horizontal.</p> <p>Los precipitadores de cal-coagulante en frío de colchón o contacto de lodos es el más usado.</p>
<p>- Catalítico (Spiractor)</p>	<p>Tanque cónico vertical lleno hasta 2/3 de un material granulado (calcita o arena). A presión o abiertos. Entrada del agua y reactivos en forma tangencial cerca del fondo del cono.</p>	<p>El material granulado debe ser repuesto periódicamente.</p> <p>Tiempo de retención: 8 a 12 min.</p> <p>Purgas periódicas del lodo depositado sobre los granos catalizadores que aumentan de tamaño. Poco uso.</p>



Ablandador típico con cal del tipo de colchón de lodo con velocidad alta para la recirculación del lodo. (Cortesía de Infilco Degremont Incorporated.)



Ablandador con cal de lecho granular que produce un lodo concentrado en forma de pelotas (Cortesía de The Permutit Company)



Vista transversal de un precipitador vertical para el proceso de cal sodada en frío.

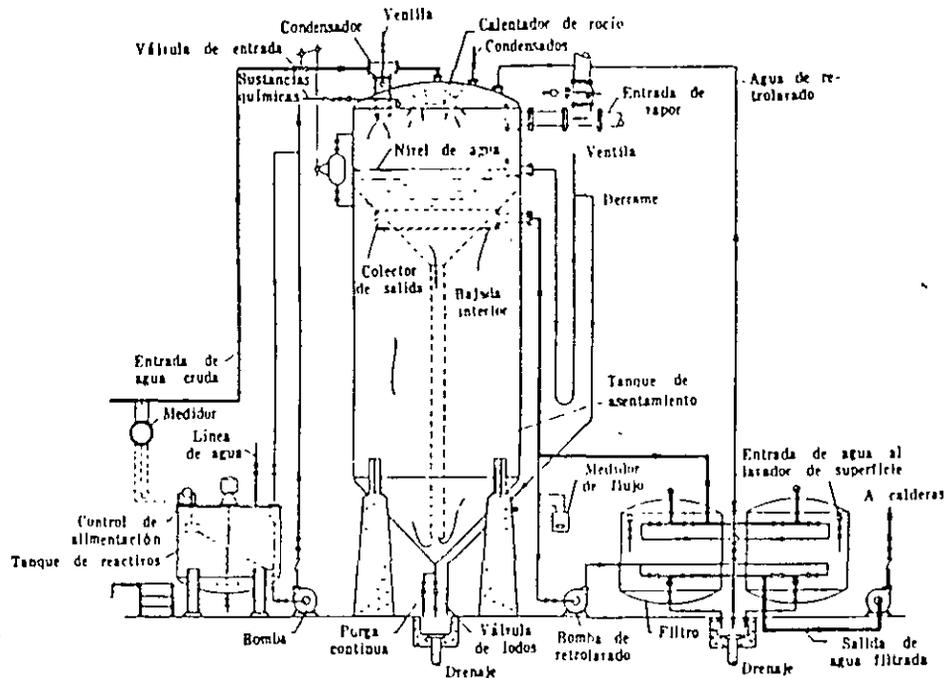


Diagrama de flujo de una planta de ablandamiento de agua por el proceso cal sodada en caliente y eliminación de sílice. De izquierda a derecha: (1) dosificador, (2) bomba y línea de recirculación, (3) reactor de lecho suspendido, (4) bomba de retrolavado de filtros, (5) filtros de presión de antracita, (6) bomba de calderas.

- Todos éstos equipos producen lodos de la reacción química, que actualmente debe considerarse su disposición, para evitar contaminación.
- Debido a la necesidad de limpieza del tanque por azolve, la unidad debe ponerse fuera de servicio periódicamente.
- Debe llevarse un especial control químico para obtener la calidad del agua deseada, así como de la operación.
- El mantenimiento preventivo debe incluir revisión de todas las partes móviles, lubricación, revisión del equipo de control, equipo eléctrico, etc.

CAL - CARBONATO EN CALIENTE

En éste proceso, las reacciones se efectúan en caliente (105°C aprox.), por lo que suceden a una velocidad considerablemente mayor. Se obtienen precipitados más grandes, más pesados y el asentamiento es más rápido. No utiliza Coagulante, ni cal para eliminar el CO₂.

El efluente se usa generalmente para calderas o evaporadores. Si se desea pulir más, puede hacerse pasar por un suavizador de Zeolita en caliente.

Las reacciones químicas son las mismas que las que se producen en el tratamiento en frío; con la ventaja de que se reduce el contenido de la sílice del agua cruda, con la adición de óxido de Magnesio, que se convierte a hidróxido de Magnesio, el cual retiene la sílice. El Mg (OH)₂ del agua cruda actúa igual y además funciona como coagulante.

Los equipos son tanques cerrados de forma cilíndrica, verticales y de fondo cónico operan a una presión de 0.35 a 0.7 Kg/cm².

La alimentación del agua cruda, de los reactivos y del vapor es por separado por la parte superior del tanque. Ahí se atomiza el agua, de esta manera se desgasifica (O_2 y CO_2). El agua ya mezclada con los prod's químicos, va al fondo por un tubo central en donde se forma el colchón de lodos, logrando un mayor y mejor contacto para producir un agua clara, para alimentar a filtros de antracita, suavizadores, evaporadores o a calderas (30 a 40 Kg/cm²).

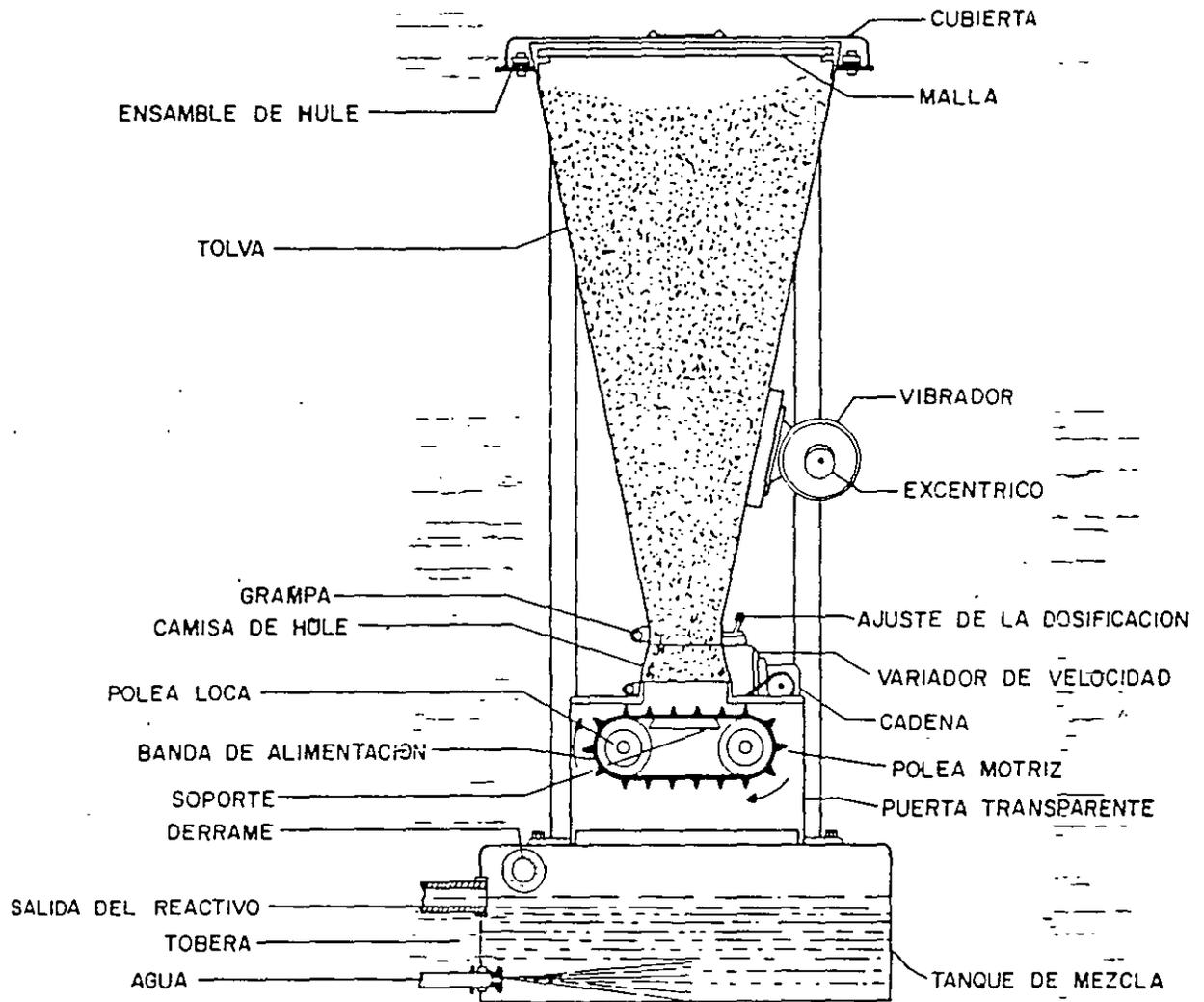
Los lodos se eliminan, de acuerdo a ^{su} formación ~~de lodos~~, por la parte inferior del cono.

Este tratamiento requiere de una estricta supervisión y de un control químico cuidadoso.

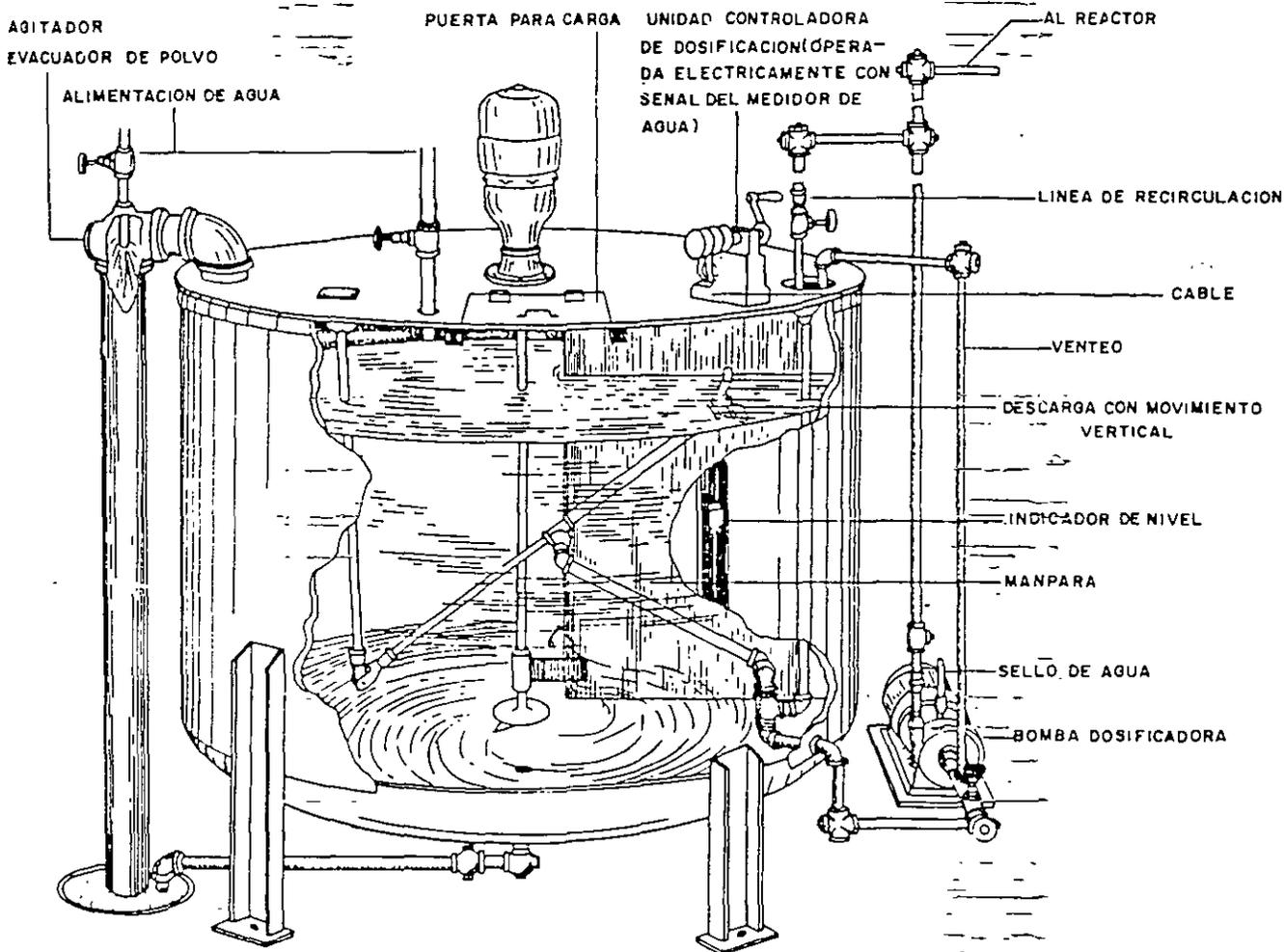
- Debido a la temperatura, las tuberías de alimentación de Cal, se incrustan con frecuencia.

El efluente suele arrastrar $CaCO_3$ y $Mg(OH)_2$ hasta los filtros por lo que deben tomarse las medidas pertinentes.

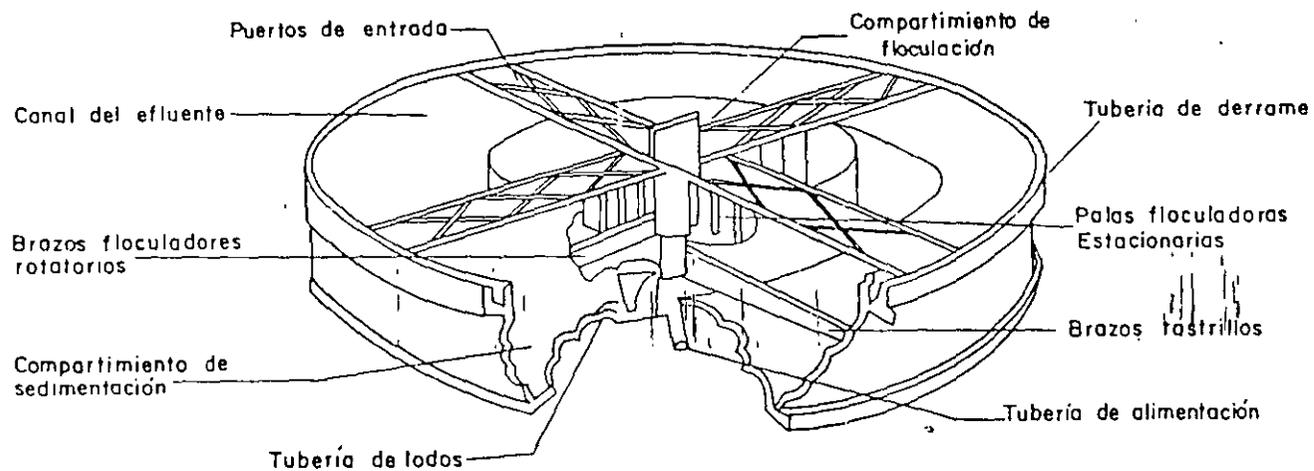
- La temperatura de reacción debe controlarse, para evitar disminución del tratamiento y por lo tanto un efluente de mala calidad.
- Debe incluirse programas de inspecciones periódicas de todos los mecanismos de dosificación, medición, control, etc.



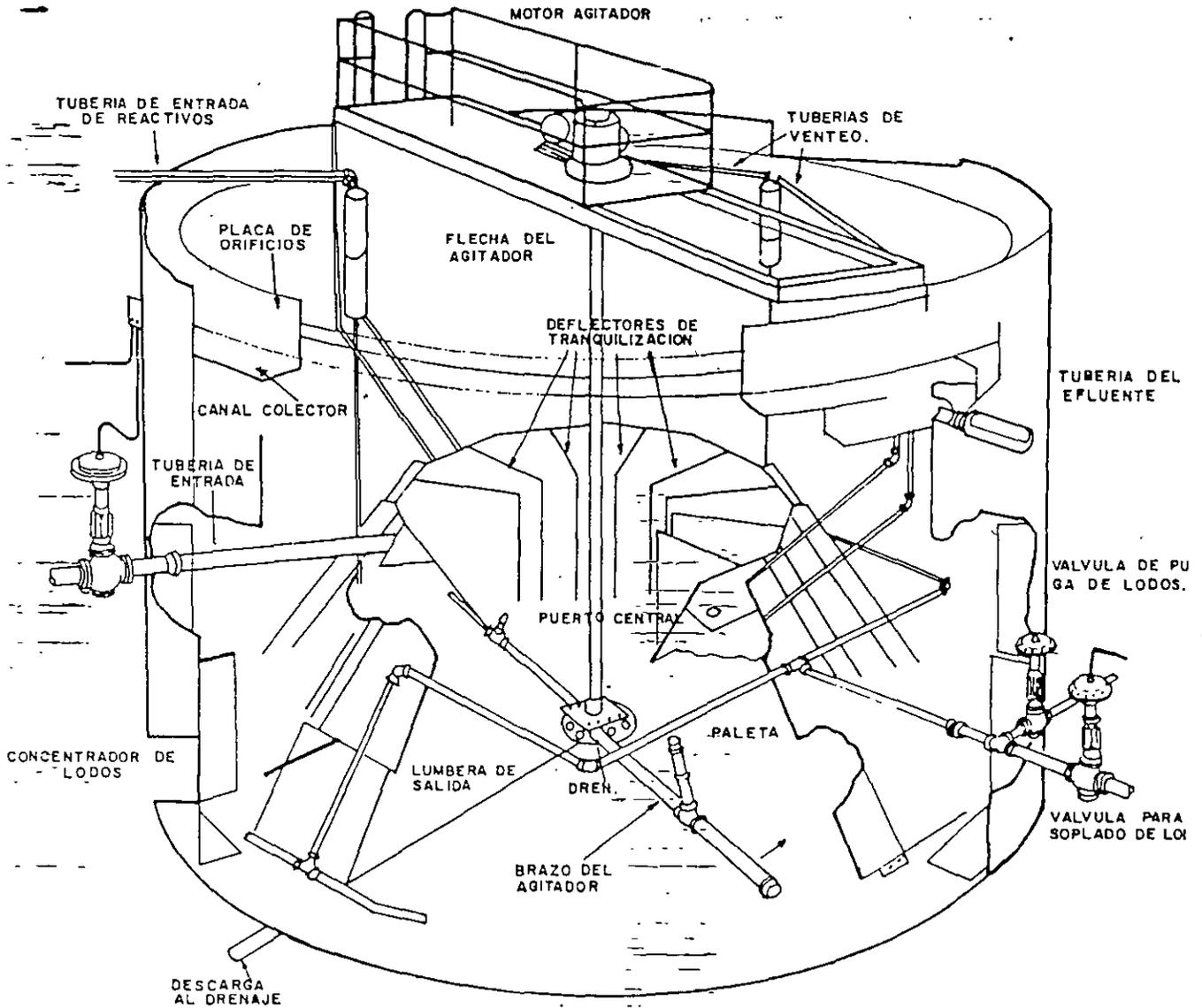
DOSIFICADOR EN SECO.



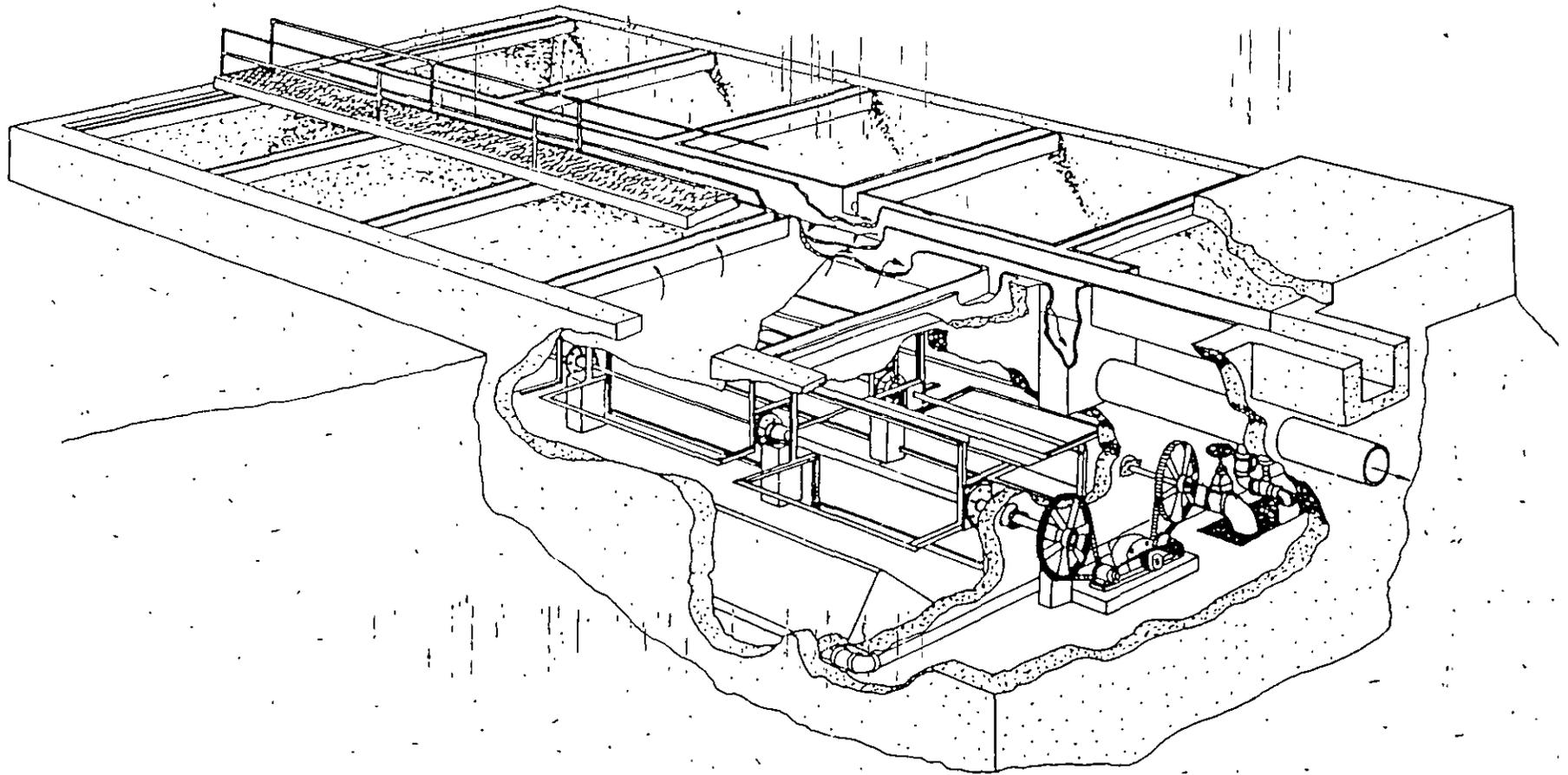
DOSIFICADOR EN HUMEDO



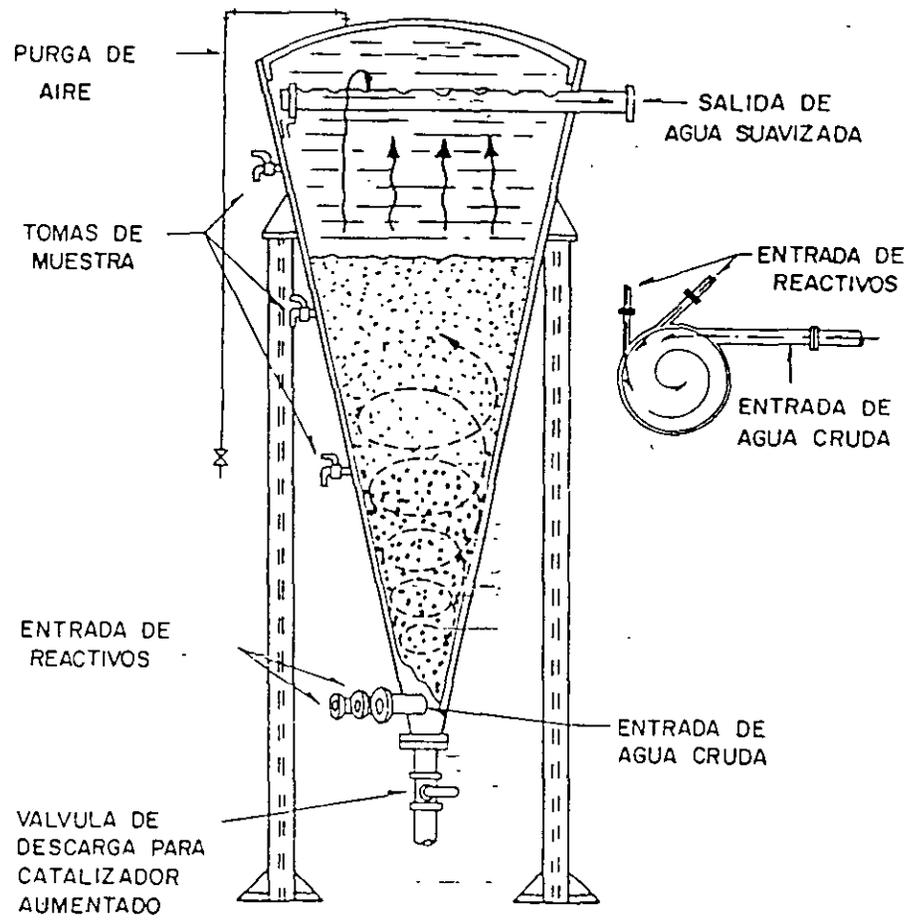
PRECIPITADOR DE TIPO CONVENCIONAL



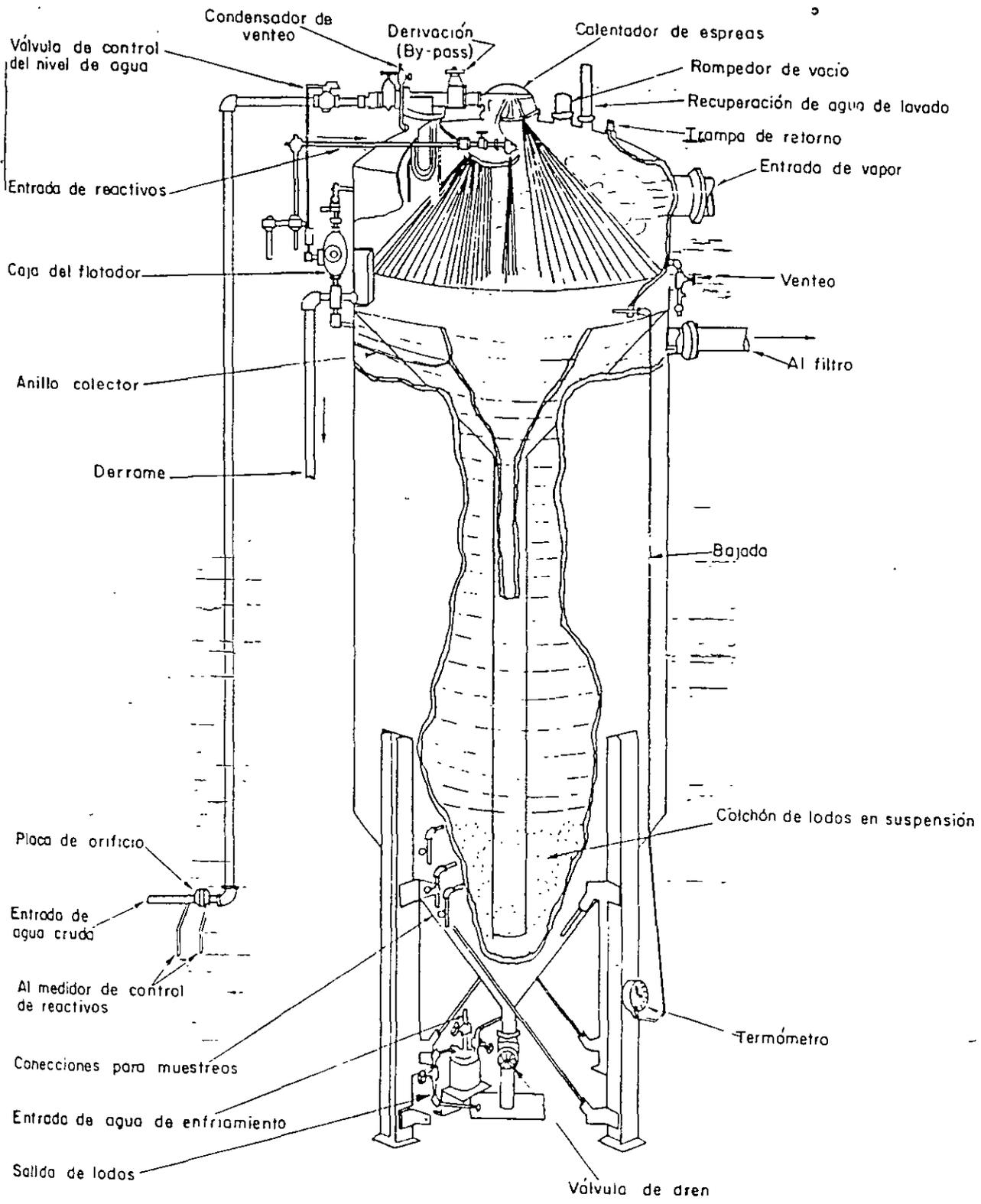
CORTE PARCIAL DE UN PRECIPITADOR VERTICAL METALICO MOSTRANDO SU CONSTRUCCION INTERNA.



CORTE DE UNA SECCION DE UN PRECIPITADÓR HORIZONTAL
DE CONCRETO



CORTE DE UN SPIRADOR MOSTRANDO EL FLUJO.



ABLANDADOR DE AGUA EN CALIENTE DEL TIPO DE COLCHON DE LODOS

INTERCAMBIO IONICO

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, que tienen, en su estructura molecular, radicales ácidos o básicos, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización, los iones positivos o negativos, fijados previamente a estos radicales, por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos. Mediante esta permutación, llamada INTERCAMBIO IONICO, puede modificarse la Composición iónica del líquido a tratar, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el tratamiento.

Otra manera de expresar el intercambio iónico, es la remoción de los iones indeseables de un agua cruda, transfiriéndolos a un material sólido llamado intercambiador de iones, el cual los acepta cediendo un número equivalente de iones de una especie deseable que se encuentra almacenada en el esqueleto del intercambiador de iones.

Este intercambiador de iones, tiene una capacidad limitada de iones almacenados en su esqueleto. A esta se le llama "Capacidad de intercambio"; en virtud de esto, llegará finalmente a saturarse con iones indeseables. Entonces se lava con una solución fuertemente regeneradora que contiene la especie deseable de iones, los que sustituyen a los iones indeseables acumulados, quedando el material de intercambio en condiciones similares a la iniciales (útil).

- Esta operación es un proceso químico cíclico y el ciclo completo incluye normalmente:
 - Retrolavado .
 - Regeneración
 - Enjuagado
 - Servicio

Los intercambiadores iónicos, son estructuras en forma de esqueleto que poseen muchos sitios para el intercambio.

Es un ion de plástico insoluble, enorme y cargado electricamente para retener iones de carga opuesta. Es porosa, permeable por lo que participa en el proceso.

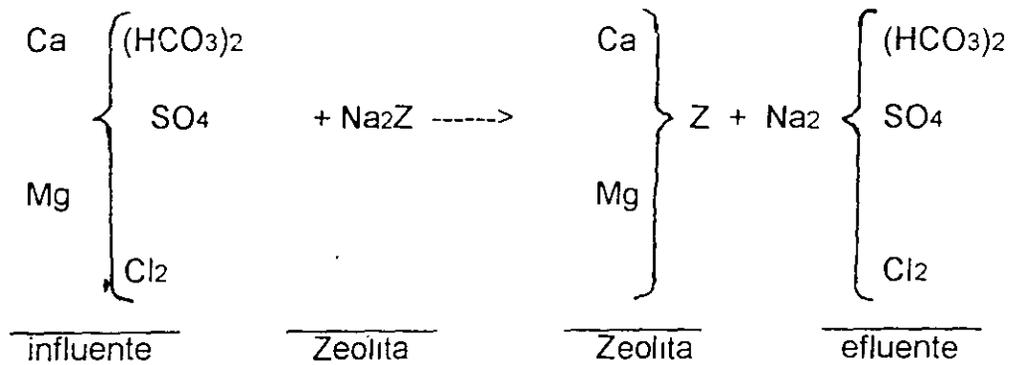
La mayor parte de los intercambiadores iónicos comerciales actuales son de materiales plásticos sintéticos, por Ej: Copolímeros de estireno y divinil benceno.

Este proceso de intercambio iónico, puede ser:

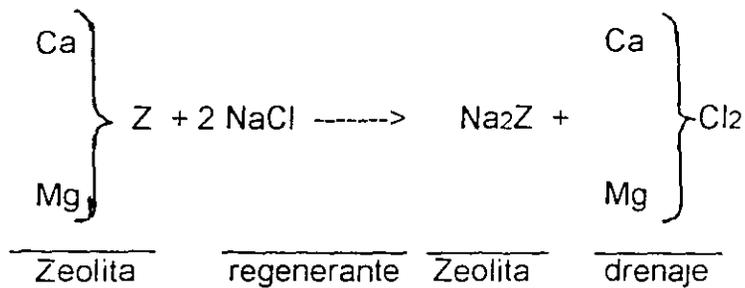
- Suavización con Zeolitas
- Desalcalinización
- Desmineralización

SUAVIZACION CON ZEOLITA

Llamado también ablandamiento, es el proceso de intercambio iónico más antiguo y más sencillo. Elimina la dureza del agua principalmente. Al saturarse se regenera con una sal muera de Cloruro de Sodio. Las reacciones químicas que se suscitan en el equipo suavizador, son las siguientes:



Para restituir la capacidad de intercambio de la resina se regenera:



El intercambio que sucede durante la operación, produce un efluente con sales de sodio, en vez de las sales de Ca y Mg del influente. La dureza en el efluente puede llegar hasta 2 a 4 ppm, dependiendo de la dureza del influente. (en ocasiones llega a cero)

El efluente con sales de sodio, de un suavizador con Zeolita, puede abastecer calderas de baja presión.

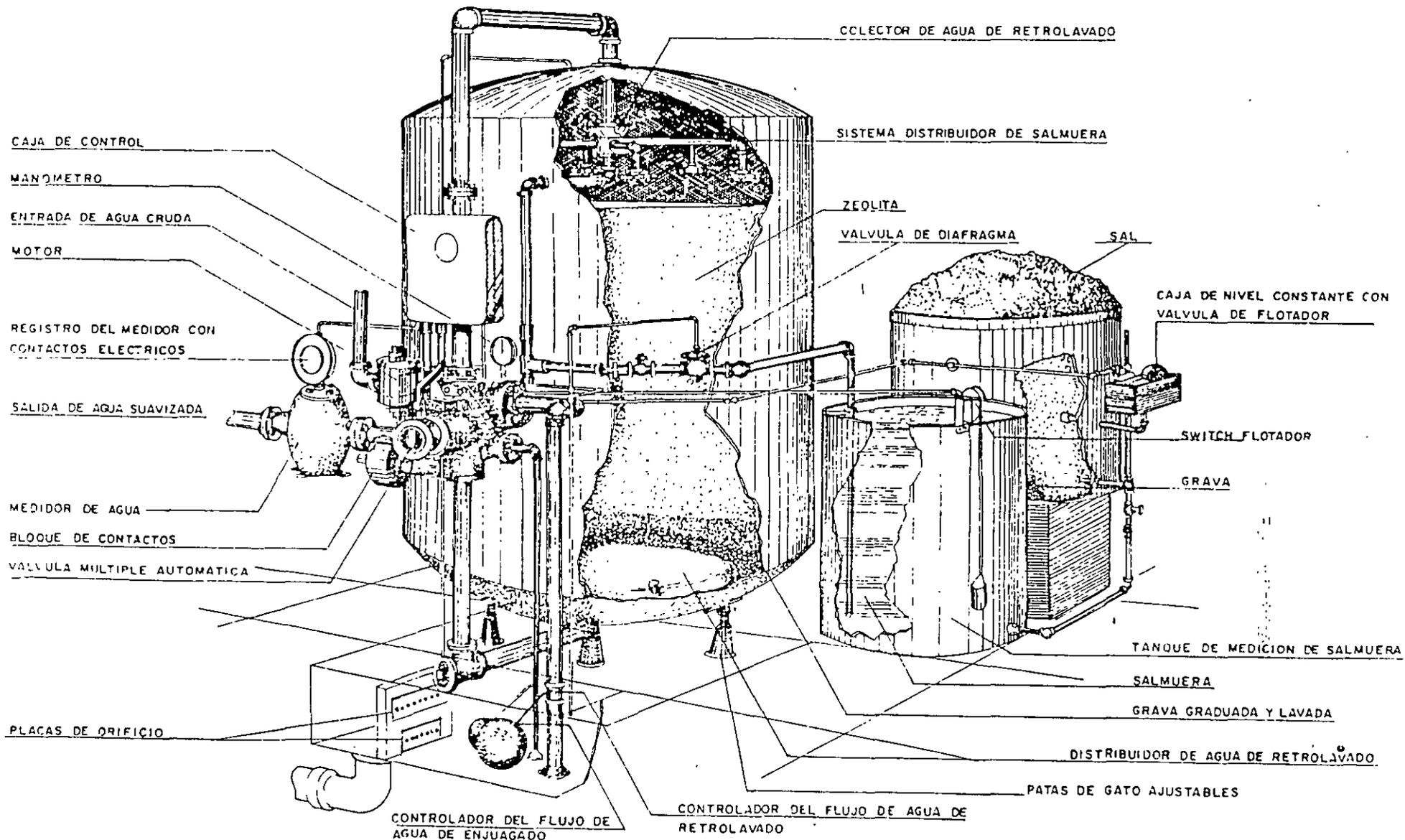
La cantidad de sal que necesita un suavizador para su regeneración está determinada por los límites aceptables para la calidad del efluente y la capacidad que la planta desea lograr para programar adecuadamente la regeneración del sistema basado en la mano de obra disponible.

Por su diseño y forma de operación, un suavizador actúa también como filtro, esto obliga a efectuar un retrolavado cuidadoso.

En el caso de que el efluente contenga turbidez y lodo, la Zeolita se irá recubriendo y su capacidad disminuirá gradualmente.

Si el influente proviene de un tratamiento cal en frío, la Zeolita puede ser incrustada por Carbonato de Calcio o hidróxido de Magnesio, etc.

En este caso, será necesario "lavar" la resina con soluciones diluidas de ácido clorhídrico y después regenerar (2 veces) con la sal muera en forma normal.
(Algunas Zeolitas no resisten este lavado)



EQUIPO SUAVIZADOR DE AGUA

DESALCALINIZACION

La alcalinidad en evaporadores o en calderas, causan problemas, ya que al aumentar la concentración, también aumenta la alcalinidad. Cuando el agua hierve y la alcalinidad es alta, existe la tendencia de formar espuma con el consiguiente arrastre que provoca contaminación del vapor.

Para evitar esto, se deberán efectuar purgas frecuentes para mantener baja la alcalinidad. Estas purgas ocasionan pérdida de calor. (\$)

Cuando el agua cruda contiene alta alcalinidad, es recomendable el uso de la desalcalinización. En este proceso se reduce la dureza y también la alcalinidad.

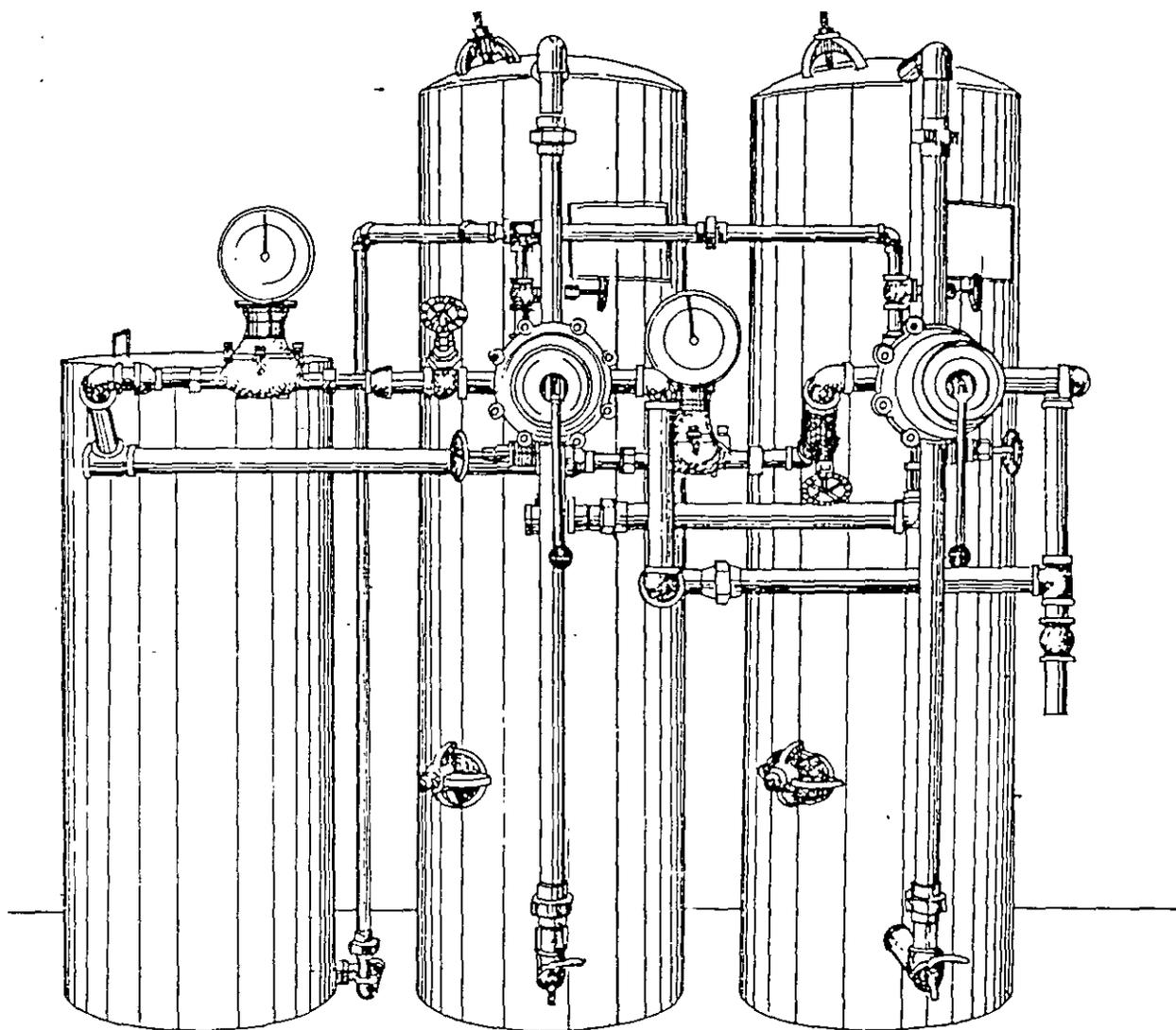
Basicamente, consta de una unidad catiónica regenerada en ciclo sodio y una unidad aniónica regenerada, también con sal, en ciclo cloruro. En estas unidades, el agua al pasar por la unidad catiónica, cambia el Calcio y el Magnesio por Sodio; después pasa a la unidad aniónica donde intercambia los aniones por cloruros, resultando un efluente con sales de cloruro de Sodio.

Algunos desalcalinizadores tienen ambas resinas en una sola unidad, totalmente mezcladas.

Otra alternativa es la de dos unidades catiónicas: una en ciclo sodio y la otra en ciclo hidrógeno. Sus efluentes se mezclan proporcionalmente para obtener un efluente final neutralizado, y este a un desgasificador para eliminar el CO₂.

La alcalinidad puede neutralizarse también, adicionando ácido sulfúrico al efluente de un suavizador de Zeolita.

Otro arreglo es el de una unidad catiónica debilmente ácida regenerada con ácido, desgasificador y Zeolita de Sodio.



DESALCALINIZADOR

DESMINERALIZACION

Dado que las sales que se encuentran disueltas en el agua se encuentran disociadas en iones, con carga eléctrica positiva llamados "cationes y con carga eléctrica negativa llamados aniones", las soluciones son electricamente neutras, debido a la igualdad de ambas cargas.

El proceso de Desmineralización o desionización consiste en la eliminación de ambos iones contenidos en el agua. La pureza que se llega a obtener a través de este proceso en el efluente es de aproximadamente del orden de 0.10 a 0.20 ppm de sales totales disueltas y de menos de 10 ppb de Sílice.

Esta eliminación de iones la efectua en dos pasos:

- 1º.- Intercambio iónico para el intercambio de cationes por iones Hidrógeno (H+).
- 2º.- Intercambio iónico para el intercambio de aniones por iones oxhidrilo (OH-).

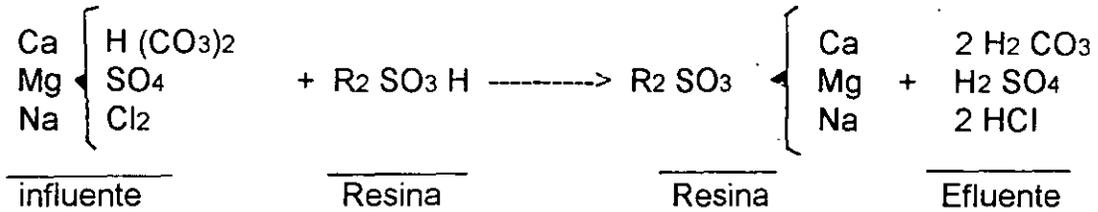
Para lograr ésto la resina se encuentra en ciclo hidrógeno y ciclo oxhidrilo, respectivamente. Por lo tanto sus regenerantes deberán contener H^+ y OH^- .

Para la regeneración de la resina catiónica generalmente se utiliza ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl) y para la regeneración de la resina aniónica se utiliza sosa cáustica ($NaOH$).

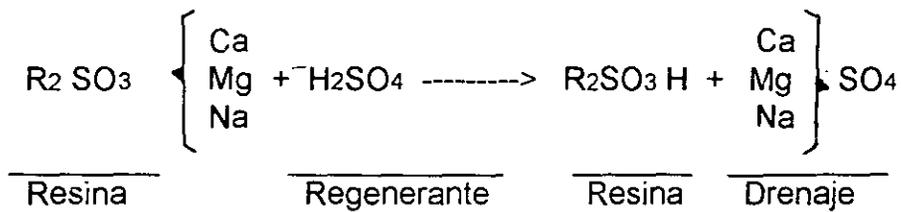
Las reacciones químicas de la desmineralización son:

REACCIONES QUÍMICAS

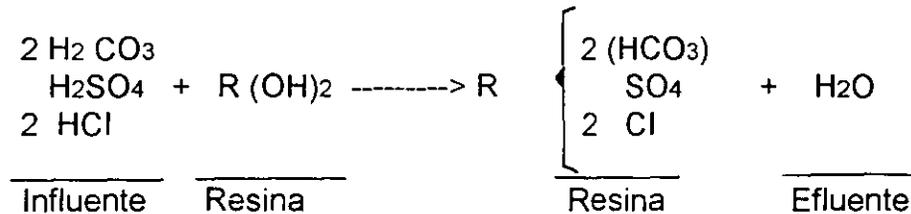
Unidad Catiónica :



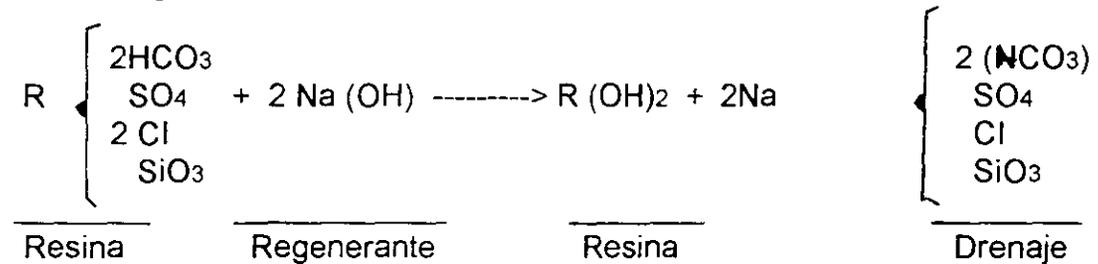
Regeneración:



Unidad Aniónica:



Regeneración:



Generalmente el ácido Carbónico (H_2CO_3) se elimina en un descarbonatador:



así se aumenta la capacidad de la Unidad Aniónica.

La resina anterior, con grupo funcional sulfónico ($-\text{SO}_3\text{H}$) se denomina: Resina Catiónica fuertemente ácida y la aniónica Resina Aniónica fuertemente básica.

Cuando la resina Catiónica tiene un grupo funcional carboxílico ($-\text{COOH}$) se denomina Resina Catiónica debilmente ácida. Elimina unicamente los cationes que se encuentran como bicarbonatos.

Las resinas Aniónicas debilmente básicas intercambian unicamente los aniones de los ácidos altamente disociados o ácidos fuertes (sulfúrico, clorhídrico y nítrico). No remueven los ácidos débiles, como el carbónico, silícico, etc. Tienen mejor capacidad de intercambio que las fuertemente básicas y tienen además la propiedad de atrapar la materia orgánica, eliminándola durante la regeneración. La resina fuertemente básica absorbe la materia orgánica que le causa ensuciamiento y pérdida de capacidad por acumulación.

Por otra parte, la Resina debilmente Básica tiene mejor capacidad de intercambio que las fuertemente básicas.

Por lo anterior, el uso de una resina debilmente básica ahorra regenerante y protege a la resina fuertemente básica.

La selección de las resinas, así como del arreglo específico para un proceso depende de:

- Calidad del agua cruda o influente.
- Cantidad de agua necesaria.
- Calidad del agua tratada o efluente.

La Resina de intercambio iónico, físicamente esta formado por granos esféricos o irregulares de 0.4 a 0.6 mm de diámetro aproximadamente y, como muestra la figura de su estructura esquelética, posee muchos puntos de intercambio, que atrae los iones de carga eléctrica contraria a la carga que poseen los puntos de la estructura. De esta manera, los iones de Calcio que se aproximen

a la estructura de intercambio que posee iones de Hidrógeno o Sodio, serán atrapados y liberados estos últimos. Los anterior obedece a un fenómeno de SELECTIVIDAD de iones. El orden selectividad de iones en agua < 1000 mg/lit de Sólidos totales disueltos.

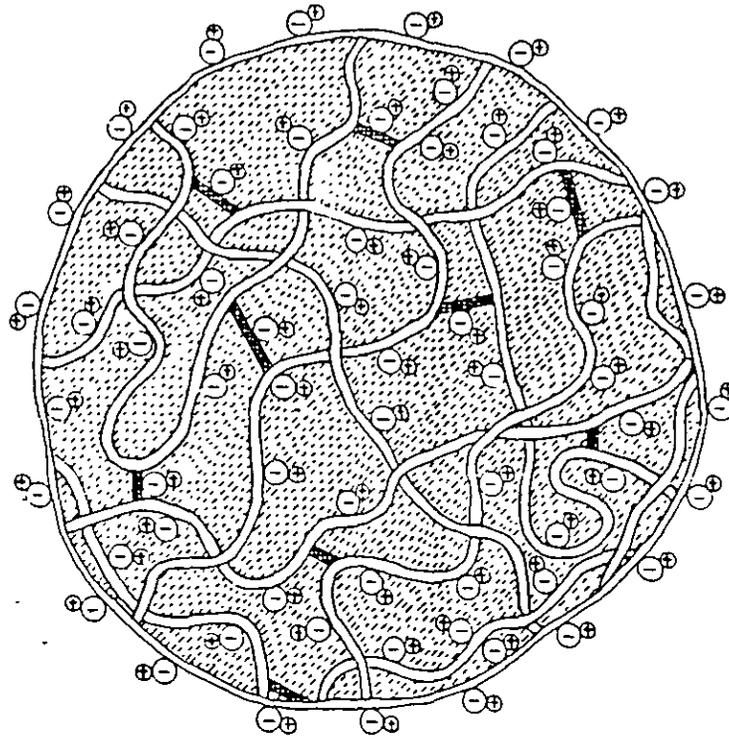
Para Cationes monovalentes: $K > NH_4 > Na > H > Li^+$

Para Cationes divalentes: $Pb > Ba > Cd > Zn > Cu > Fe > Mn > Ca > Mg^{++}$

Para Cationes trivalentes: $Fe > Al^{+++}$

Para Aniones monovalentes: $NO_3 > NO_2 > Br > Cl > CN > HCO_3 > HSiO_3 > OH > F^-$

Para Aniones divalentes: $CrO_4 > SO_4 > SO_3 > HPO_4^{=}$



- ⊖ Sitio fijo de cambio cargado negativamente, por ejem. SO_3^-
- ⊕ Cation móvil de intercambio cargado positivamente, ejem. Na^+
- ≈ Cadena poliestirénica
- ▬ Eslabón de cruce de devinilbenceno
- ⋯ Agua de hidratación

ESQUEMA DE INTERCAMBIO DEL CATION FUERTE HIDRATADO

En general, la selectividad esta afectada por:

- La valencia iónica $3 > 2 > 1$
- El número atómico $Ba > Sr > Ca > Mg$
- Radio iónico hidratado. (a mayor radio menor selectividad)

En el caso de una resina en ciclo sodio, el calcio desplaza al sodio, por tener Concentraciones normales. Pero para la regeneración, el Sodio desplaza al Calcio, debido a su alta concentración en la solución regenerante.

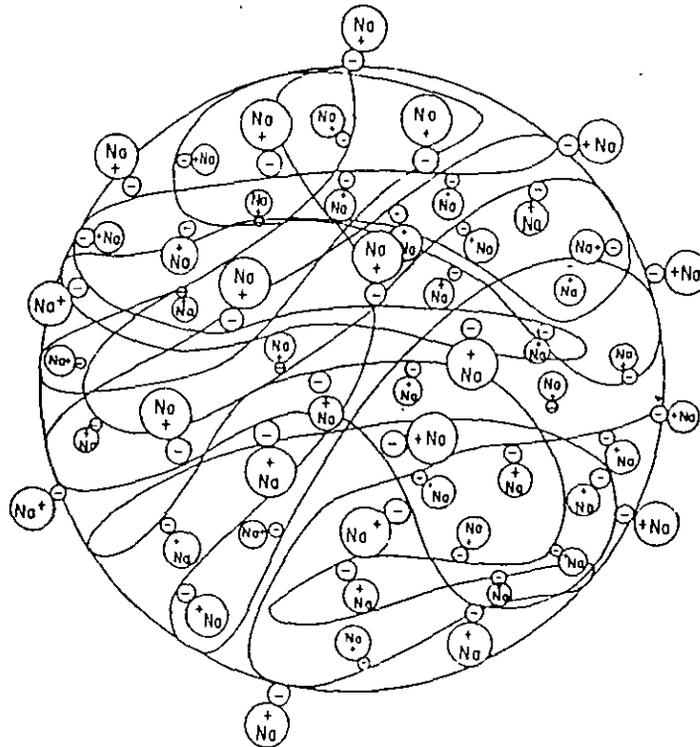
La mayor parte de las unidades de intercambio iónico son simples recipientes que contienen un lecho de resina de intercambio iónico que opera por flujo descendente. Como se mencionó anteriormente, sobre una base cíclica:

- Operación: Se trabaja la unidad hasta un nivel de fuga predeterminado, donde se considera que esta agotada.
- Regeneración. Ahora se regenera la unidad. Este paso se inicia con una limpieza de la resina, con un flujo ascendente (retrolavado) y luego por elución química, con flujo descendente se le da nuevamente su capacidad inicial de intercambio a la Resina.

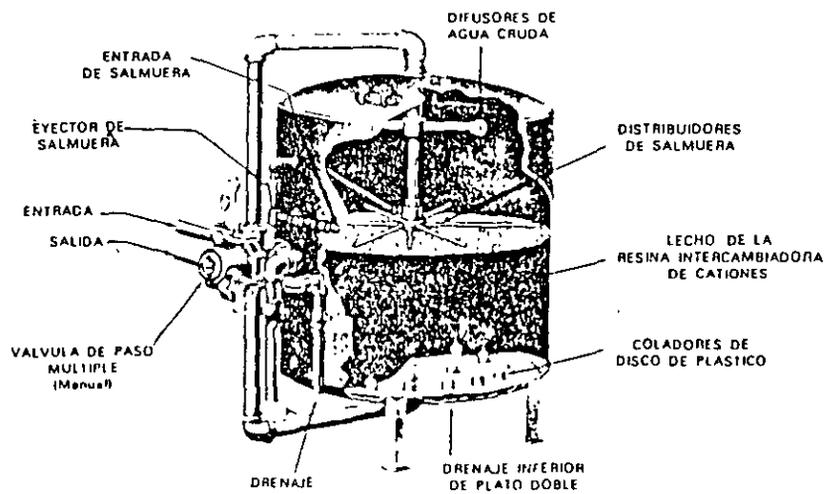
- Enjuague: En esta etapa el lecho de resina es enjuagado por flujo descendente, desplazando y enjuagando la resina y el tanque.
- Operación: Al término del enjuagado, la unidad esta lista para entrar en servicio.

Recordando que el diámetro efectivo del material de intercambio iónico es de 20-50 mallas (0.5 mm), hace que el lecho de resina funcione como un filtro muy efectivo, con las ventajas y desventajas correspondientes.

En ocasiones, la calidad del agua obtenida por unidad una catiónica, desgasificador y unidad aniónica o algún arreglo diferente, no es cumplida, se recurre a una segunda etapa desmineralizadora que pula el agua producida en la primera etapa. Otra posibilidad es el empleo de un lecho mixto, ya sea para servicio primario o para pulido. En este tipo de unidad las resinas catiónicas y aniónicas, se mezclan íntimamente, después de la regeneración, con objeto de ofrecer cientos de etapas para la desmineralización.

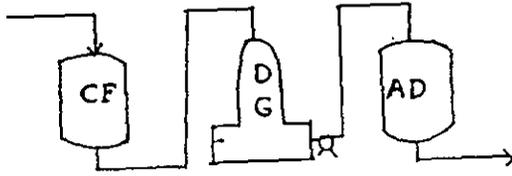


Modelo de un intercambiador de cationes, mostrando los sitios de intercambio negativamente cargados sobre el esqueleto que sostiene los iones de sodio como uvas en un racimo.



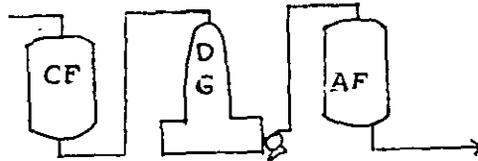
Corte de una unidad intercambiadora de iones, mostrando los detalles del diseño de las partes internas dispuestas para la regeneración a corriente paralela (Cortesía de The Permutt Company.)

DIFERENTES ARREGLOS DE SISTEMAS DE INTERCAMBIO IONICO

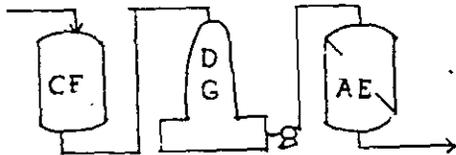


Características del efluente

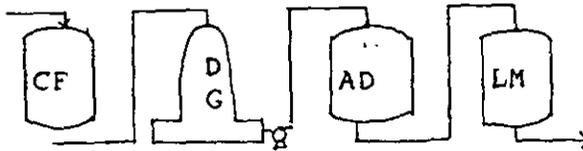
Produce un efluente que puede contener de 2-10 ppm de STD y no elimina la sílice.



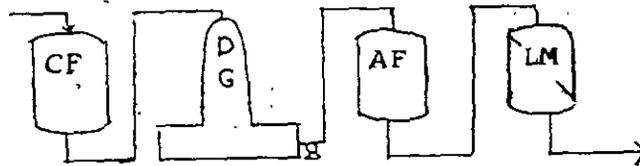
Agua de 2 a 3 ppm de STD y sílice de 0.02 a 0.10 ppm.



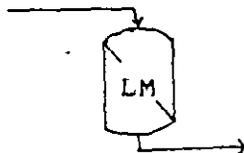
Eficiente en el consumo de regenerante aniónico. Influyente con altos SO_4 y Cl . Elimina la sílice.



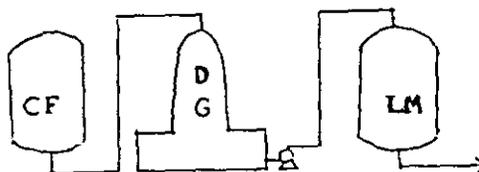
Efluente con 0.2 a 1.0 ppm de STD
Bajo consumo de $\text{Na}(\text{OH})$



Eficiente eliminación de sílice hasta valores de 0.1 a 0.05 ppm. (Muy buena calidad)



Su influente debe provenir de evaporadores, osmosis inversa, electrodiálisis. Efluente de muy buena calidad.



Puede tratar agua con alta alcalinidad y bajo contenido de sílice. Efluente de buena calidad.

En los criterios finales para la selección definitiva de un sistema de desmineralización, deberán considerarse los siguientes factores:

- Requerimiento de remoción de Sílice
- Calidad o pureza del efluente en sólidos totales disueltos
- Calidad o composición del agua disponible
- Capacidad de producción
- Costo de la inversión, operación, etc.

Además del arreglo seleccionado, deberá incluirse, una fosa de neutralización para los efluentes de la regeneración y la fosa de recuperación de ácido (opcional).

Cuando las necesidades de agua demineralizada son elevadas, es aconsejable disponer de dos o tres sistemas o trenes de desmineralización.

Uno de los principales problemas de las resinas es que suelen contaminarse con algunas sustancias, con la consiguiente pérdida de la capacidad de intercambio.

Algunos de los contaminantes más frecuentes son:

- Materia orgánica (Se recomiendan lavados de desinfección con solución de sosa caústica al 5% y sulfito de sodio al 1%)
- Hierro (Lavados con soluciones diluidas de HCl)
- Sulfato de Calcio (Idem a Hierro)
- Cloro libre (Pretratamiento para evitarlo. Si llega a la resina la deteriora)
- Oxígeno, Altas temperaturas, etc.

Otro tipo de fallas son las mecánicas en distribuidores y toberas.

También las producidas por corrosión, dado las características de los regenerantes, en particular el ácido sulfúrico.

Debido a esto se deberá contar en la planta, con las refacciones necesarias y con la resina suficiente para reponer en caso de pérdida.

Algunas Consideraciones sobre el tratamiento de los desechos:

Un factor importante en la selección de cualquier proceso de intercambio iónico es la disposición del desecho producido por la regeneración de las unidades. En algunas ocasiones, es reutilizable el desecho catiónico o aniónico. Generalmente, se almacenan ambos en una fosa de construcción especial, para recibir ambos desechos, alternativamente.

La capacidad de la fosa debe ser capaz de almacenar el volumen de hasta dos regeneraciones aproximadamente. La solución podrá disponerse al tener un pH entre 6 y 9.

OSMOSIS INVERSA

La osmosis es un proceso en el cual un solvente fluye a través de una membrana separando una solución mas fuerte de una solución más débil. El solvente fluye en la dirección que reducirá la concentración de la solución mas fuerte.

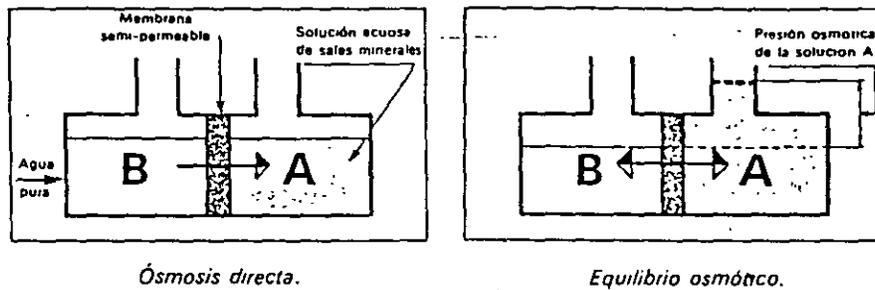
La OSMOSIS INVERSA es un proceso de membrana que actua como un filtro molecular para eliminar del agua:

- Minerales disueltos.
- Compuestos orgánicos disueltos.
- Materia Coloidal
- Bacterias

En este proceso de O.I., el agua es introducida a presión a través de una membrana separando en dos partes:

- El filtrado, permeado o producto (diluido)
- El rechazo o no permeado (concentrado)

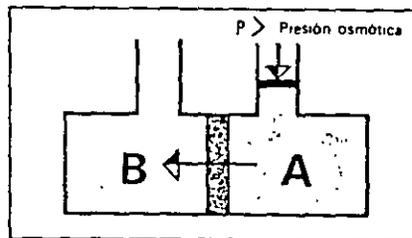
ÓSMOSIS INVERSA



La ósmosis inversa tiene su origen en la comprobación de la reversibilidad del fenómeno de ósmosis directa o natural.

La figura representa una solución acuosa de sales minerales (compartimiento A) y agua pura (compartimiento B). La ósmosis natural o directa se traduce por una transferencia de agua pura del compartimiento B hacia el compartimiento A. El nivel asciende en el compartimiento A hasta que la presión engendrada por la columna de líquido anula el flujo de agua pura: se alcanza el equilibrio osmótico y, como se ha indicado

al valor de esta presión hidrostática se le denomina presión osmótica de la solución A.

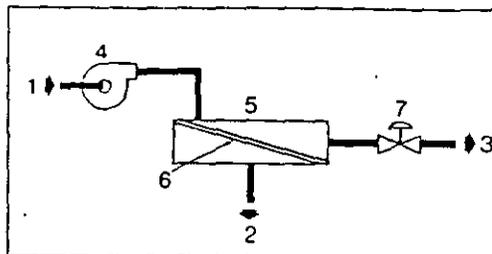


Ósmosis inversa.

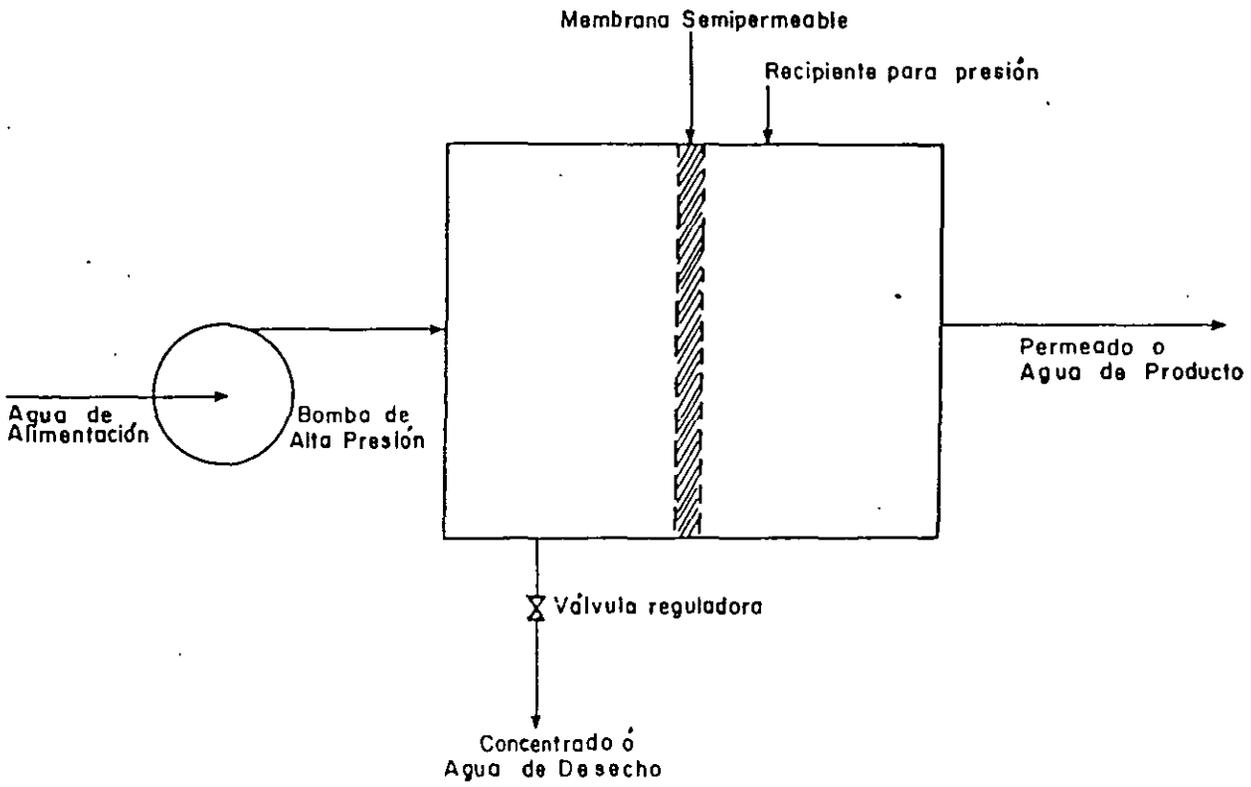
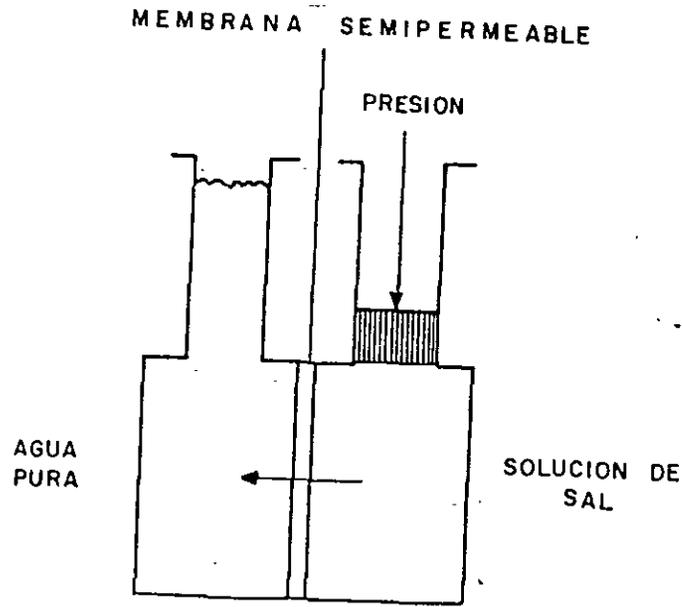
Si se aplica ahora, por encima de la solución salina, una presión hidrostática superior a su presión osmótica se observa un flujo de agua pura en sentido inverso al anterior, quedando las sales retenidas por la membrana. Este fenómeno recibe el nombre de ósmosis inversa.

- 1 - Agua bruta.
- 2 - Agua depurada
- 3 - Vertido concentrado
- 4 - Bomba de alta presión.
- 5 - Módulo de ósmosis inversa.
- 6 - Membrana semi-permeable.
- 7 - Válvula de expansión.

Esquema simplificado de funcionamiento de una unidad de ósmosis inversa.



OSMOSIS INVERSA



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL FLUJO EN EL SISTEMA OSMOSIS INVERSA

Por esto, la OSMOSIS INVERSA es la reversibilidad del fenómeno de OSMOSIS directa o natural.

La O.I., utiliza membranas semipermeables, que dejan pasar el agua, reteniendo del 90 al 99% de todos los minerales disueltos del 95 al 99% de la mayoría de los elementos orgánicos y el 100% de la materia coloidal (bacterias, virus, sílice coloidal)

Tomando en cuenta las variables de comportamiento, para este proceso, podemos mencionar:

- El flujo de agua a través de una membrana, es proporcional a la diferencial de presión aplicada a través de la membrana (400 a 1200 lb /pulg²).
- El flujo de sales a través de la membrana es proporcional a la diferencial de Concentraciones a través de la membrana, es decir, si se aumenta la presión de operación se aumenta el flujo de agua.

La conversión o recuperación es el porcentaje de agua de alimentación que es convertido en producto o permeado. Mientras más alta es la conversión mayor es el rendimiento. Sin embargo no siempre es recomendable una alta recuperación por la posibilidad de la precipitación de sólidos disueltos en la membrana, esta baja recuperación oscila entre 40-50% de conversión.

Además, las membranas no son totalmente impermeables y siempre se tendrá cierta cantidad de materiales disueltos que pasarán a través. A ésta cantidad de material se le conoce como PASO DE SALES.

En la actualidad, se comercializan dos tipos de membranas:

- De acetato de celulosa (mezcla mono, di, triacetato).
- Membranas de poliamidas aromáticas.

Las primeras (A de C.) proporciona un fuerte caudal por unidad de superficie. Su diseño es tubular, espiral o fibras huecas. Las de poliamida tienen menor caudal específico y para obtener un máximo de superficie por unidad de volumen del permeador, tiene un diseño particular.

**MEMBRANAS DE ACETATO ESPIRALES
Y MEMBRANAS DE POLIAMIDA DE FIBRAS HUECAS**

Membranas	Tratamiento de aguas de salinidad < 15 g/l	
1. Naturaleza	poliamida aromática B-9	acetato de celulosa
2. Configuración	fibras huecas	espiral o fibras huecas
3. Resistencia física: — Presión normal de funcionamiento — Contrapresión máxima del agua producida — Temperatura máx. de funcionamiento — Temperatura máx. de almacenamiento	28 bar 3.5 bar 35 °C 40 °C	30 a 42 bar 30 °C 30 °C
4. Resistencia química: — pH tolerados — Hidrólisis — Ataque bacteriano — Cloro libre — dosis máxima admisible en continuo — Otros agentes oxidantes	4 a 11 insensible insensible pH ≤ 8 : 0,1 mg/l pH > 8 : 0,25 mg/l buena resistencia	4,5 a 6,5 muy sensible muy sensible } 0,5-1 mg/l resistencia mediana
5. Duración	3 a 5 años	2 a 3 años
6: Paso de sal (NaCl)	5 a 10 %	5 a 10 %

También existen unas membranas llamadas «agua de mar», las cuales, partiendo de polímeros de base, tienen una estructura más «apretada», por lo que pueden desalinizar, en una sola fase, soluciones de varias decenas de gramos de sal por litro, como el agua de mar. Este es el caso de la membrana B-10 de fibras huecas de poliamida que, desde 1975, ha permitido la construcción de varias plantas de desalinización de agua de mar, especialmente en barcos.

La resistencia a los agentes químicos y biológicos es mayor en las membranas de poliamida que en las de acetato, en las que se presenta la hidrólisis, si no se respetan rigurosamente las condiciones de operación.

Los dos diseños más importantes de Osmosis Inversa son:

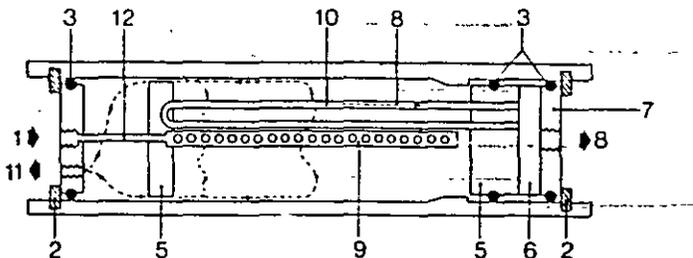
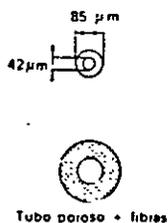
- Módulos de arrollamiento en espiral:

Las membranas se arrollan por pares sobre un tubo central en el que se colecta el permeado. El agua que será tratada circula paralelamente al tubo central, por los espacios acondicionados entre las dos caras activas de las membranas por medio de unos espaciadores (de plástico).

El producto atraviesa un material y llega al tubo central.

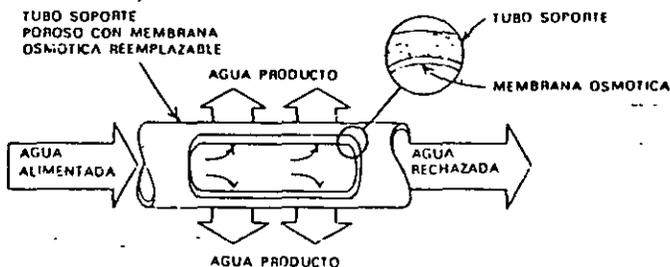
- Módulos de fibras huecas:

Una fibra hueca puede asimilarse a un cilindro poroso de pared gruesa, cuya resistencia es función de la relación diámetro exterior / diámetro interior. Si esta relación permanece constante cuando sus diámetros decrecen, el cilindro conserva sus propiedades de resistencia aun cuando disminuya el espesor de la pared (de esta manera se aumenta el caudal del agua que la atraviesa). Así se logra tener una membrana de superficie máxima por unidad de volumen, capaz de resistir, sin soporte mecánico, altas presiones.

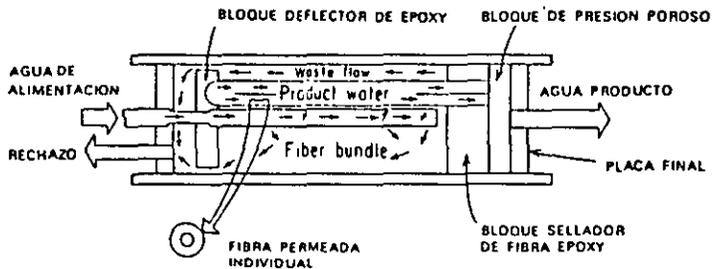


- 1 - Agua bruta.
- 2 - Fijación.
- 3 - Juntas tóricas.
- 5 - Placa epoxy.
- 6 - Disco poroso.
- 7 - Placa de cabeza.
- 8 - Agua pura.
- 9 - Tubo poroso distribuidor.
- 10 - Fibra hueca.
- 11 - Rechazo.
- 12 - Tubo no poroso.

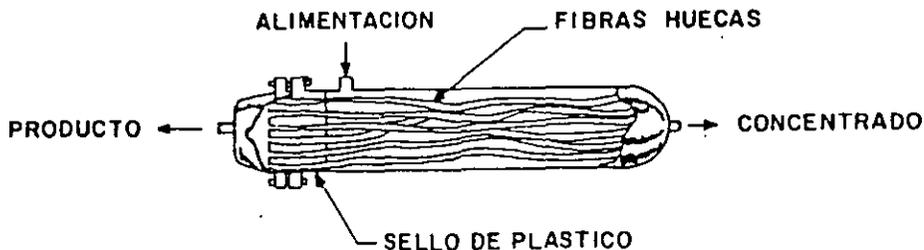
— Esquema de principio de un módulo de fibras huecas tipo-B-9. PERMASEP



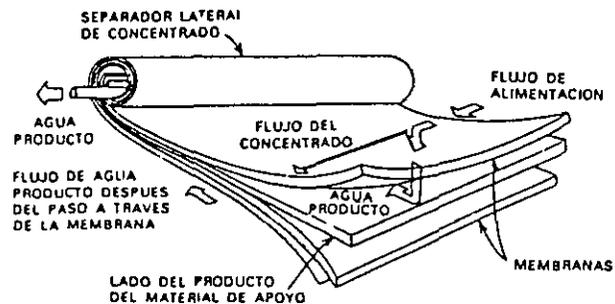
El diseño tubular emplea una membrana de acetato de celulosa contenida enteramente en la superficie interior de un tubo soporte. El agua alimentada fluye a través del tubo, el líquido purificado pasa a través de la membrana tubular y los contaminantes que permanecen dentro del tubo se descargan en el extremo opuesto. Varias unidades de membranas de tubo se conectan en paralelo dentro de un recipiente con tubos múltiples para alimentación, concentrado y producto. (Cortesía de The Permutit Company.)



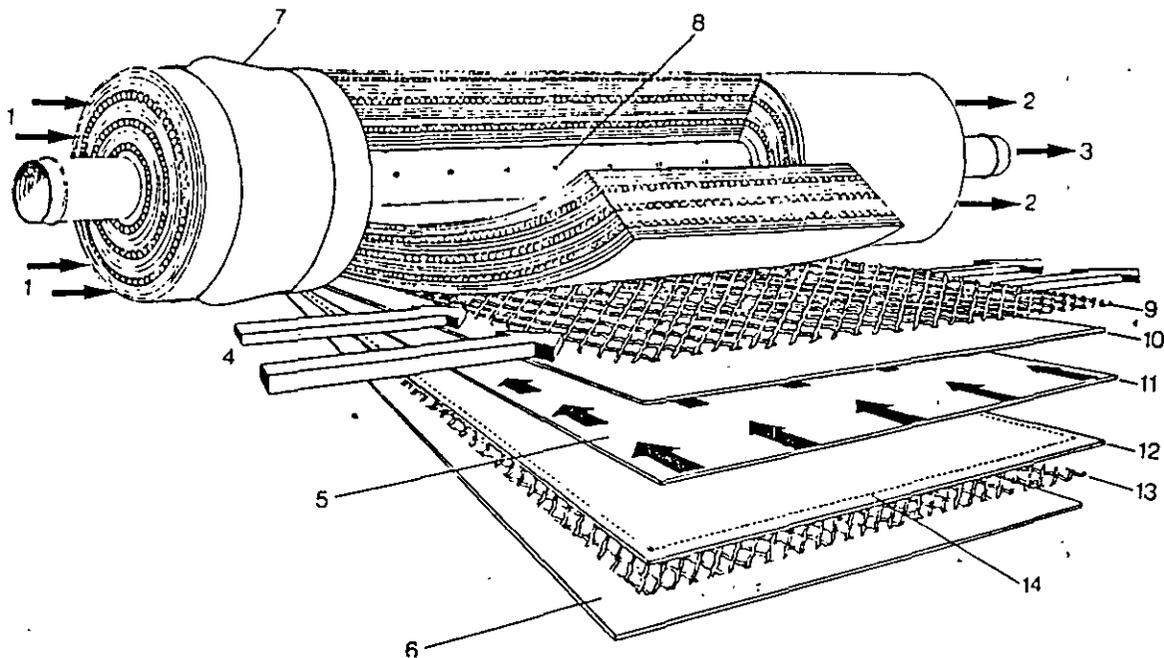
Las barreras de fibras delgadas huecas están atadas en un haz cilíndrico que contiene muchos pies cuadrados de área. Este ensamble está instalado en un casco con entrada, salida del concentrado y salida del agua purificada. El agua se encuentra bajo presión alrededor de las fibras, de modo que el agua pura pasa a través de las paredes de las fibras y fluye a través del diámetro de la fibra. El rechazo es descargado a través de la salida del concentrado. (Cortesía de The Permutit Company.)



Las membranas se enrollan por pares sobre un tubo central, en el que se recoge el permeado. La solución que debe desmineralizarse circula paralelamente al tubo central, dentro de los espacios acondicionados entre las dos caras activas de las membranas por medio de unos espaciadores (en general, rejillas de plástico).



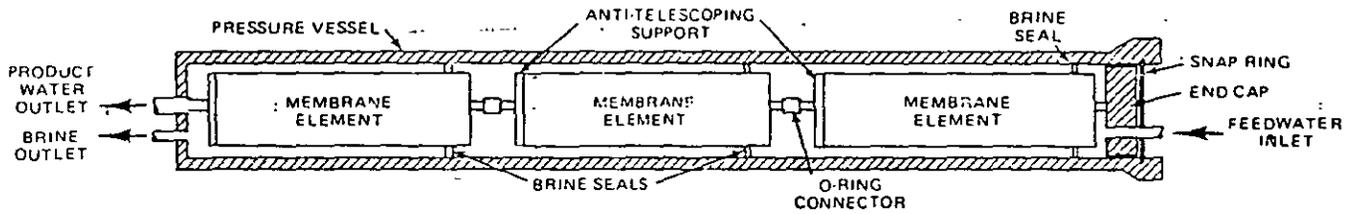
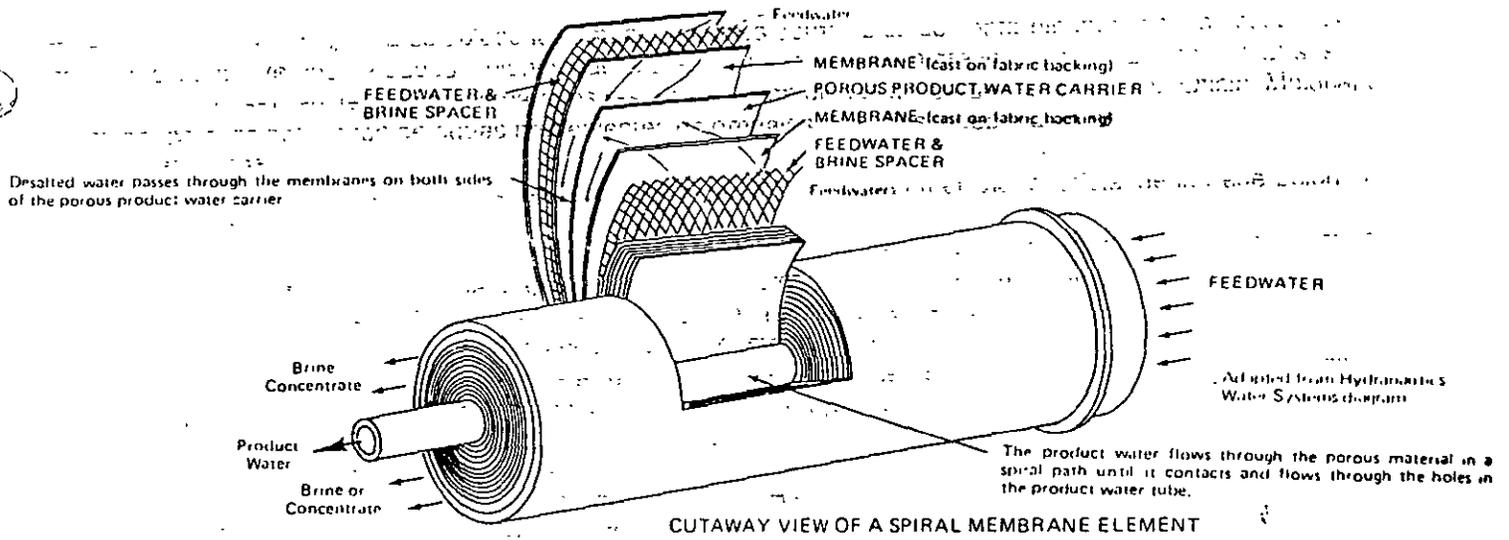
Barreras OI enrolladas en espiral son membranas del tipo lámina de acetato de celulosa modificado enrolladas alrededor de un tubo colector permeado y cubierto con un revestimiento exterior. Los elementos se hallan alojados en un recipiente que contiene los sellos, las salidas y las entradas necesarias. El agua de alimentación pasa a través de las membranas al tubo colector y sale del elemento. Los contaminantes son desechados a través de la salida del concentrado. (Cortesía de The Permutit Company.)



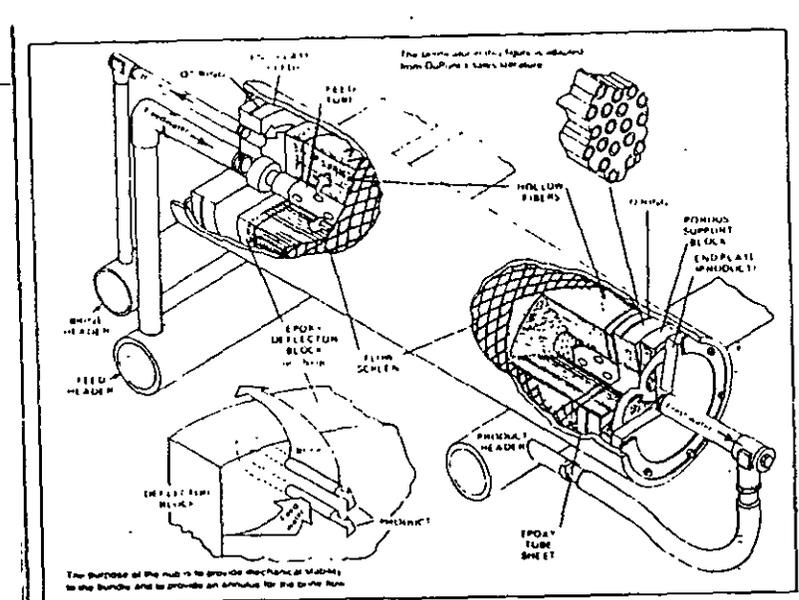
- 1 - Agua bruta.
- 2 - Rechazo.
- 3 - Salida de permeado.
- 4 - Sentido de flujo del agua bruta.
- 5 - Sentido de flujo del permeado.

- 6 - Material de protección
- 7 - Junta de estanquidad entre módulo y envolvente.
- 8 - Perforaciones de recogida de permeado.
- 9 - Espaciador.

- 10 - Membrana.
- 11 - Colector de permeado.
- 12 - Membrana.
- 13 - Espaciador.
- 14 - Línea de soldadura de las dos mem.



Spiral membrane: cut-away view with elements in a pressure vessel.



Cutaway view of a hollow fiber fiber RO membrane assembly.

Las fibras son del grueso de un cabello humano, con un agujero a todo lo largo.

La membrana consiste en un soporte poroso con un centro hueco, una capa soporte de polímero poroso y en el exterior un forro delgado densamente empacado. La separación ocurre sobre la superficie de la fibra. La armadura de resina epóxica y fibra de vidrio contiene al material de fibra hueca que los une en cada extremo.

En un permeador de cuatro pulgadas de diámetro hay un millón de fibras aproximadamente, que soportan una presión de 400 lb/pulg² del agua de alimentación que entra por el tubo central y fluye radialmente pasando por las fibras para fluir por el interior hacia la placa epoxi como producto.

Las sales concentradas salen en el rechazo por el interior del módulo hacia el otro extremo para su desecho.

Instalaciones de Osmosis Inversas.

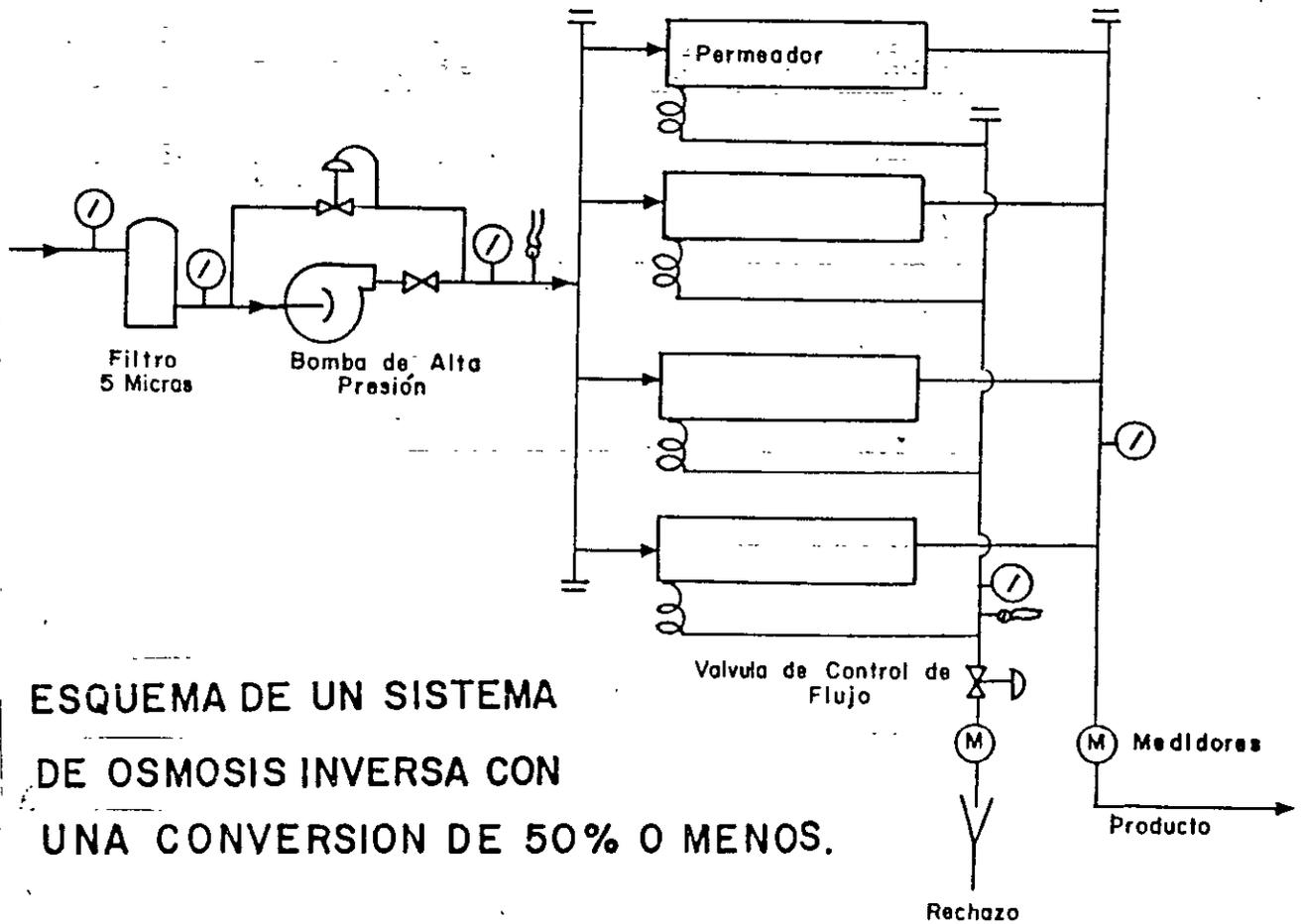
Una instalación de O.I., puede constar desde un pequeño y único módulo, hasta una yuxta posición de módulos elementales para lograr una geometría determinada y obtener la cantidad de agua necesaria y de una calidad determinada.

- **En Paralelo.-** En este tipo de instalaciones todos los módulos trabajan en las mismas condiciones de operación (presión y conversión). Generalmente son de baja capacidad y mediante filtros de cartuchos se protege la bomba de alta presión y las membranas, al evitar materias en suspensión. El grado de conversión es de 50%.
- **En Serie.-** Con esta disposición se aumenta el % de conversión. El rechazo de la primera etapa, alimenta a la segunda etapa, sin necesidad de rebombeo. Este sistema puede alcanzar 70 a 90 % de conversión, con 2 o 3 etapas.

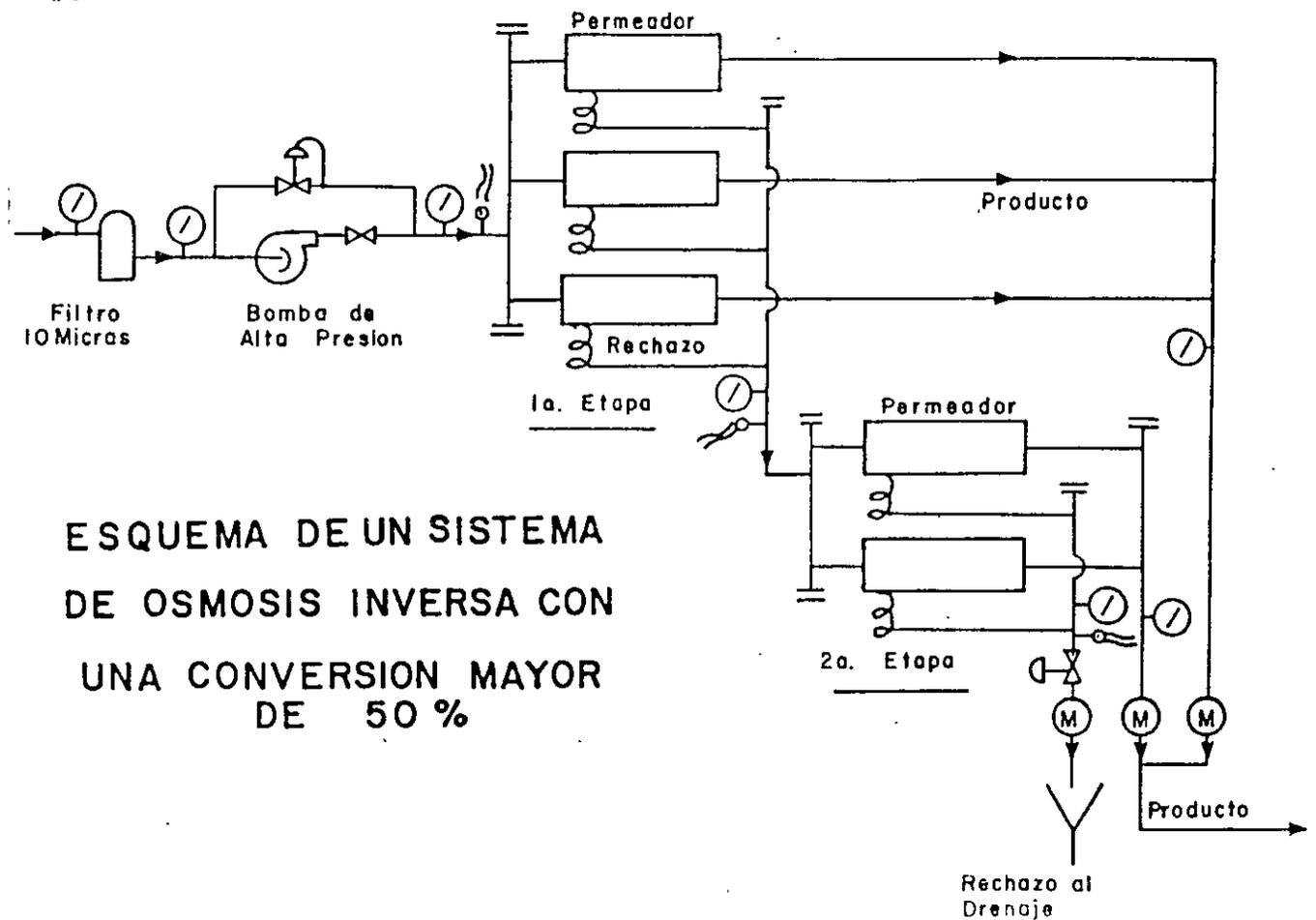
Existen otros arreglos de instalaciones que dependen de la necesidad específica de la calidad del agua a utilizar, ya que la O.I., es aplicable a casi todos los casos en los que se pretende una desmineralización o una concentración de iones o de moléculas orgánicas. En la actualidad, existen algunas aplicaciones más importantes:

- **Abastecimiento de agua potable o a la industria.-** Esto en localidades en donde se dispone solamente de agua salobre. (1500 a 6000 mg/lit de sólidos totales disueltos)

- Producción de agua de alta calidad.- Para calderas de media y alta presión, industria electrónica, farmacéutica, nuclear....., así como laboratorios, hospitales, etc.
- Agua de mar.- Dado que algunas membranas tienen una conversión de 98% de iones monovalentes, pueden producir agua potable al desalinizar el agua de mar, en un sólo paso de O.I.
- Aguas residuales industriales.- Con este sistema de O.I., pueden recuperarse metales en los aclarados de los baños de galvanización, como el niquelado, cobrizado, cadminizado....., directamente a la salida del proceso que produce los efluentes ricos en iones recuperables.



ESQUEMA DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA CON UNA CONVERSION DE 50% O MENOS.



ESQUEMA DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA CON UNA CONVERSION MAYOR DE 50 %

**SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
RECURSOS NATURALES Y PESCA
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.

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; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. 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

C O N S I D E R A N D O

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 16 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.

Í N D I C E

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 vertidas a 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 pluviales independientes.

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 lagunás 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 oxígeno, 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	Máximo
Menor que 4 <input type="checkbox"/>	mínimo 2 <input type="checkbox"/>	-	-
De 4 a 8 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	1	2
Mayor que 8 y hasta 12 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	2	3
Mayor que 12 y hasta 18 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	2	3
Mayor que 18 y hasta 24 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	3	4

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 = 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 restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

TABLA

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)				
	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	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	100	175	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	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.

TABLA

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

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)			
	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
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	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	0.005	0.01	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	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 P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

4.4. 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 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 enero 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 enero 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 enero 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, 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 los plazos establecidos 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.

TABLA 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

□

TABLA 7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ 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 podrá 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.

TABLA 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de habitantes	UNO MENSUAL	UNO TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	UNO TRIMESTRAL	UNO SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	UNO SEMESTRAL	UNO ANUAL

TABLA 1

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 t/d (toneladas/día)	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	UNO MENSUAL	UNO TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	UNO TRIMESTRAL	UNO SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	UNO SEMESTRAL	UNO

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, para que ésta dictamine lo procedente.

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 empaquetado 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.

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 5 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, 90 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, 90 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.

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 *Il. diminuta*, entre otros.

3.3 Nematelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies entroparásitas 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 750 ml

- Etanol 350 ml

Preparación

Homogeneizar 750 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 mm (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 Sedwich-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

3 La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.

4 El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.

5 Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 mm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).

6 Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.

- 7 En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- 8 Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- 9 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.
- 10 Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos; según la centrifuga).
- 11 Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO₄ con una densidad de 1.3.
- 12 Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- 13 Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- 14 Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- 15 Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
- 16 Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, vertir 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.
- 17 Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- 18 Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
- 19 Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H₂SO₄ 0.1 N) + C₂H₅OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- 20 Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- 21 Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
- 22 Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
- 23 Identificación y Cuantificación de la Muestra
 - a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwich-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 centrifuga utilizada, la fórmula es:

$$\sqrt{\frac{Kg}{r}}$$

Donde:

g: fuerza relativa de centrifugación

K: constante cuyo valor es 89,456

r: radio de la centrifuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r(rpm)^2}{K}$$

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.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-002-ECOL-1996

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.

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; 5o. fracción V, 6o, 7o, 8o. fracciones II, VII y XII, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción II, 119, 119 Bis, 121, 122, 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 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; y

CONSIDERANDO

Que con fecha 18 de octubre de 1993, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal. De conformidad con el Acuerdo mediante el cual se modifica la nomenclatura de 58 normas oficiales mexicanas en materia de protección ambiental publicado en el referido órgano informativo el 29 de noviembre de 1994, se cambió la nomenclatura de la norma en cuestión, quedando como norma oficial mexicana NOM-031-ECOL-1993.

Que durante la aplicación de la referida norma se detectaron algunos problemas de carácter técnico, por lo que se tuvo la necesidad de llevar a cabo un análisis de la misma por parte del Instituto Nacional de Ecología en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, autoridades locales y con los diversos sectores involucrados en su cumplimiento, llegándose a la conclusión de que era necesario reformular la norma en comento procediéndose a elaborar una nueva norma oficial mexicana que la sustituyera, tomando en consideración puntos de vista socio-económicos, la infraestructura existente de los sistemas de alcantarillado, la determinación de parámetros prioritarios, el tamaño de poblaciones y la compatibilidad con otras normas en la materia, y que las disposiciones establecidas sean operativas y su cumplimiento sea gradual y progresivo.

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-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1997, 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 avenida Revolución 1425, mezanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, 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 3 de abril de 1998.

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 9 de diciembre de 1997, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.**

ÍNDICE

- 1. Objetivo y campo de aplicación**
- 2. Referencias**

- 3. Definiciones
- 4. Especificaciones
- 5. Métodos de prueba
- 6. Grado de concordancia con normas internacionales
- 7. Bibliografía
- 8. Observancia de esta norma
- 9. Transitorios

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

2. REFERENCIAS

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, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.

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 15 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 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-044 Aguas - Análisis de agua-Determinación de Cromo Hexavalente-Método colorimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua- 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 colorimétrico 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 10 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-076 Aguas – Determinación de níquel, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas – Determinación de zinc, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1982.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas pluviales

Aquellas que provienen de las lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y el granizo.

3.2 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.

3.3 Aguas residuales de proceso

Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

3.4 Aguas residuales domésticas

Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

3.5 Autoridad competente

Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

3.6 Condiciones particulares para descargas al alcantarillado urbano o municipal

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico correspondiente, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.

3.7 Contaminantes

Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

3.8 Descarga

Acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

3.9 Instantáneo

Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

3.10 Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.11 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la especificación 4.10 de esta Norma Oficial Mexicana.

3.12 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, el 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.

3.13 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

3.14 Promedio diario (P.D)

Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

3.15 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 laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

3.16 Punto de descarga

Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

3.17 Sistema de alcantarillado urbano o municipal

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

4. ESPECIFICACIONES

4.1 Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Tabla 1

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

4.2 Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

4.3 El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

4.4 El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C. (cuarenta Grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

4.5. La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.6. Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida en el punto 2 de esta norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

4.7. El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto 4.6, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.

b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

4.8. No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia.

4.9 La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

c) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.

d) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga.

4.10 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2
FRECUENCIA DE MUESTREO

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
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

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times \frac{Qi}{Qt}$$

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.

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

En el caso de que en el período de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.

4.11 Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la Tabla 3. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

Tabla 3

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1º de enero de 1999	mayor de 50,000 habitantes
1º de enero de 2004	de 20,001 a 50,000 habitantes
1º de enero de 2009	de 2,501 a 20,000 habitantes

4.12 Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 3 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en un plazo no mayor de 180 (ciento ochenta) días a partir de la fecha de publicación de esta norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana

b) La autoridad competente, previo a la publicación de esta norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta norma, para su descarga correspondiente.

d) Exista previo a la publicación de esta norma, reglamentación estatal o municipal que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

4.13 Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

4.14 Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 1 de la presente Norma Oficial Mexicana. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

4.15 El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad competente podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales locales aplicables.

4.16 El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

4.17 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebasa los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga

4.18 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario o mensual de los parámetros referidos en el punto 4.1 de esta Norma, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se pueden aplicar los métodos de prueba referidos en las normas mexicanas señaladas en el punto 2 de esta Norma. El responsable de la descarga puede solicitar a la autoridad competente, la aprobación de métodos alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos quedarán autorizados para otros responsables de descarga en situaciones similares

6. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.

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 se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1 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.).

7.2 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 1993. E.U.A.)

7.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.

7.4 Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edition McGraw-Hill International Editions. E.U.A.)

- 7.5 Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 7.6 Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 7.7 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).
- 7.8 Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 7.9 Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edition Vol. I Y II: E.U.A.)
- 7.10 Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3ª Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso. Metcalf And Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)
- 7.11 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.
- 7.12 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.
- 7.13 Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 7.14 Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995. (Impacto del reuso de las aguas residuales en aguas subterráneas, en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, México. Administración para el Desarrollo Exterior. Fase 1, Informe Febrero 1995).
- 7.15 Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.
- 7.16 Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 7.17 Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 7.18 Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995. (Costo-efectividad del Control de la Contaminación del Agua en la Frontera Norte de México. Instituto de la Economía Ambiental Aplicada-1995).
- 7.19 XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990
- 7.20 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEDUE. México, D.F. 1989.
- 7.21 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.
- 7.22 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA
- 7.23 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1995.
- 7.24 Administración de 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.
- 7.25 NMX - AA - 087 - 1995 - SCFI.
Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con Daphnia Magna Straus (Crustacea-Ciudocera).- Método de Prueba).
- 7.26 NMX - AA - 110 - 1995 - SCFI.
Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad aguda con Artemia Franciscana Kellogs (Crustacea-Anostraca).- Método de Prueba.
- 7.27 NMX - AA - 112 - 1995 - SCFI .
Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con Photobacterium Phosphoreum.- Método de Prueba.
- 7.28 Operation of Wastewater Treatment Plants.-Manual of Practice No. 11.-Second Printing 1985. Water Pollution Control Federation. Washington. D.C. (Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.- Manual de Prácticas No. 11.- Segunda Edición 1985). Federación del Control de la Contaminación del Agua).
8. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

8.1. La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos Estatales, Municipales y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, cuyo personal realizará los trabajos de verificación, inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

8.2. La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

La presente Norma Oficial Mexicana abroga a su similar NOM-CCA-031-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- A partir de la fecha de entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal 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.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles de esta norma, el responsable de la descarga debe presentar a la autoridad competente su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en el punto 4.11 de esta Norma, según le corresponda.

SEGUNDO.- Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 3 de esta Norma Oficial Mexicana, no serán aplicables, cuando se trate de instalaciones nuevas o de incrementos en la capacidad o ampliación de las instalaciones existentes en fecha posterior a la entrada en vigor del presente instrumento, el responsable de la descarga deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, en un período no mayor de 180 (ciento ochenta) días naturales posteriores al inicio de la actividad u operación del proceso generador, debiendo notificar a la autoridad competente dicha fecha.

TERCERO.- En tanto se alcanzan las fechas de cumplimiento establecidos en la Tabla 3 y en el caso de que las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal contengan concentraciones de contaminantes superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, el responsable de la descarga no podrá descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años, de acuerdo con sus registros y los informes presentados ante la autoridad competente.

México., Distrito Federal, a los seis días del mes de abril de mil novecientos noventa y ocho.

**LA SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA
JULIA CARABIAS LILLO**

establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO

INDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES
MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES
TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-
Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones V y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 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-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Alvaro Obregón, 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 14 de agosto de 1998.

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 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que

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-005 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción Solhlet, 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-028 Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio 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-42 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-102-1987 Calidad del Agua-Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva.- Método de filtración en membrana, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 28 de agosto de 1987.
- 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, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado órgano informativo el 30 de abril de 1997

3. Definiciones

3.1 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.

3.2 Aguas crudas

Son las aguas residuales sin tratamiento.

3.3 Aguas residuales tratadas

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

3.4 Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅ y sólidos suspendidos totales.

3.5 Contaminantes patógenos y parasitarios

Son los 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 medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

3.6 Entidad pública

Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

3.7 Lago artificial recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

3.8 Lago artificial no recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

3.9 Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

3.10 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

3.11 Reuso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

3.12 Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

4. Especificaciones

4.1 Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 1

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helmin to (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	[1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	[5	15	30	30

4.2 La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3 El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

4.4 Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

5. Muestreo

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

5.1 Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

8.4 Manual de agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

8.5 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).

8.6 Water Treatment Handbook, 1991. Degremont 6th Edition Vol. I y II. U.S.A. (Manual de tratamiento de agua 1991) 6a. Edición Vols. I y II. E.U.A.

8.7 Wastewater Engineering Treatment. Disposal and Reuse, 1991. 3rd. Edition. U.S.A. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso) Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3a. Edición. E.U.A.

8.8 Municipal Wastewater Reuse-Selected Readings on Water Reuse-United States Environmental Protection Agency-EPA 430/09-91-022 September, 1991. (Reuso de aguas residuales municipales-lecturas selectivas sobre el reuso del agua-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América- EPA 430/09-91-022 septiembre 1991).

9. Observancia de esta Norma

9.1 La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, 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 General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud 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**. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.- Rúbrica.

5.2 Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

5.3 Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

6. Métodos de prueba

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las normas mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reuso del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reuso del agua residual, puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señalan en el anexo 1 de esta Norma.

7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración

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; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

8. Bibliografía

8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1994. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. U.S.A. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales 19a. Edición. E.U.A.).

8.2 Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente) E.U.A.

8.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Gerey, Limusa, México.

5. Equipo

Centrifuga: con intervalos de operación de 1,000 a 2,500 revoluciones por minuto

Periodos 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

ANEXO 1

TECNICA PARA LA DETERMINACION Y CUANTIFICACION 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 *Il. diminuta*, entre otros.

3.3 Nematelmintos: 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.

PREPARACION

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

PREPARACION

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

- Garrafones de 8 litros
- Tamiz de 160 mm (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 Sedgwich-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.

- p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000-2,500 rpm por 3 minutos).
 - q) 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.
 - r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
 - s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500-3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
 - t) 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 Sedgwich-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:

$$rpm = \sqrt{\frac{Kg}{r}}$$

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:

$$g = \frac{r(rpm)^2}{K}$$

- 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.

- p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000-2,500 rpm por 3 minutos).
- q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H₂SO₄ 0.1 N) + C₂H₅OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500-3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- t) 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 Sedgwich-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:

$$rpm \sqrt{\frac{Kg}{r}}$$

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:

$$g = \frac{r(rpm)^2}{K}$$

- 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, 19a. ed., Washington. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales, 19a. Edición E.U.A.)
- 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.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS URBANOS

TRATAMIENTO, REUSO Y RECICLADO DE AGUAS RESIDUALES Y POTABLES

(ANEXOS)

Del 29 de julio al 09 de Agosto de 2002

CI-295

**Ing. Miguel Alonso Castillo Hoil
DGSU
2002**

PROBLEMATICA DEL AGUA

El agua es reconocida como fuente de vida, los sitios ideales para el asentamiento de poblaciones dedicadas a la pesca y a la agricultura son las riberas de los cuerpos de agua naturales y actualmente son sitios de desarrollo urbano y rural.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua en México son los ríos, manantiales y el subsuelo. La disponibilidad de estos recursos es muy variable en todo el territorio nacional.

Las aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas domésticas, industriales y agropecuarias y la sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando, lo que ha ocasionado deterioros irreversibles, intrusión salina, hundimientos del terreno y necesidad de bombeo a profundidades incosteables.

Los sitios con mayor desarrollo demandan cada vez mayores cantidades de agua y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales municipales e industriales, en los cuerpos receptores, en muchas ocasiones sin ningún tratamiento.

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 nivel nacional estimado en 184 metros cúbicos por segundo. De éstos, 105 corresponden a descargas municipales y 79 a descargas industriales.

Los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua son: materia orgánica, que ocasiona la disminución del oxígeno disuelto; nutrientes como los detergentes, que provocan eutroficación, grasas y aceites, que ocluyen las agallas de los peces y disminuyen la transferencia de oxígeno, sólidos sedimentables azolvan los cuerpos de agua, organismos patógenos, metales pesados, y plaguicidas, que afectan a la salud humana, a la flora y fauna acuáticas.

A escala nacional se genera una carga contaminante de materia orgánica total, medida en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de 2.4 millones de toneladas por año; que corresponden 36% al ámbito municipal y 64% al industrial.

El sector industrial, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación de agua, se ha configurado en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos. Estos 9 grupos en conjunto arrojan el 82% del total de aguas residuales de origen industrial. Destacan la industria azucarera y la química, con el 59.8% del total.

La Comisión Nacional del Agua reportó en 1997, la existencia de 808 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, con una capacidad total de 54.9 metros cúbicos por segundo; y 177 plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial, con una capacidad aproximada de 12 metros cúbicos por segundo. De lo anterior se deriva que, de la descarga total de aguas residuales municipales, sólo se trata el 24.3% del cual aproximadamente la mitad se reutiliza. De las aguas residuales industriales, únicamente se trata el 15.5% . Cabe aclarar que estas cifras son estimadas según la capacidad instalada y que no todos los sistemas de tratamiento están en operación. |

En algunas de las 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 de atarjeas como en instalaciones de bombeo, en equipo electromecánico en instalaciones de seguridad; desaparición de equipo o carencias de instalaciones eléctricas. La falta de recursos no ha permitido ampliar adecuadamente la cobertura del servicio de alcantarillado ni mejorar los sistemas de tratamiento.

La insuficiencia de personal capacitado para operar y mantener en buenas condiciones las instalaciones mencionadas, es otro problema muy serio. A esto se agrega que el país no cuenta con la tecnología suficiente para la fabricación de equipo de medición y de tratamiento.

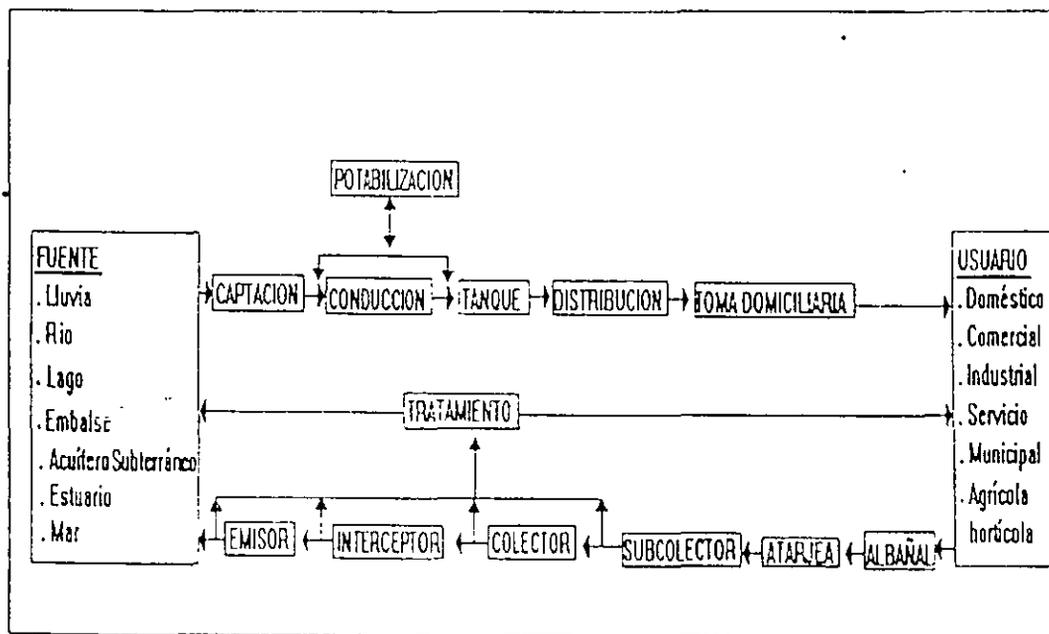
Se tienen ya Normas Oficiales Mexicanas para las descargas de aguas residuales, por lo que la Comisión Nacional del Agua cuenta con la facultad de otorgar o negar permisos para el vertimiento, en base a la calidad del agua que se pretende alcanzar en el cuerpo receptor.

ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUAL

Un sistema hidrosanitario urbano inicia en la fuente de abastecimiento de agua, de donde es captada, si el agua de este lugar no reúne las condiciones de potabilidad se le da un tratamiento para que cumpla con los parámetros establecidos, posteriormente esta agua se entrega a los usuarios que al utilizarla le agregan impurezas que pueden proceder del uso doméstico, comercios, industrias, establecimientos de servicio, usos municipales; en algunas poblaciones pequeñas se acostumbra que los habitantes tengan hortalizas y huertos, cuyas aguas de desecho en ocasiones van al drenaje.

Las aguas residuales, mezcladas con contaminantes procedentes de todo tipo de uso que exista en una comunidad, son desalojadas del predio hacia el alcantarillado a través del albañal. Posteriormente por el emisor son enviadas al suelo o a cuerpos de agua, en ocasiones sin tratamiento, lo que debe evitarse ya que siempre es necesario construir y operar adecuadamente una planta de tratamiento (Fig 1.1)

FIG. 1.1 ORIGEN Y DESTINO DE LAS AGUAS RESIDUALES



Las plantas de tratamiento por su ubicación dentro del sistema hidrosanitario urbano pueden dividirse en.

- **TERMINAL.** Cuando se encuentra al final de la red de alcantarillado y su objetivo es dar tratamiento al total de las aguas residuales que se van a desechar y así evitar la contaminación de agua y suelo
- **NO TERMINAL O INTERMEDIA.** Cuando se encuentra dentro de la población y su objetivo es tratar solo parte de las aguas del sistema de alcantarillado para ser utilizadas en la industria, riego, u otros usos y generalmente no es desechada directamente a un cuerpo receptor.

CONTAMINACION DE UN CUERPO DE AGUA

Un cuerpo de agua se considera contaminado, cuando la composición o el estado de sus aguas son directa o indirectamente modificadas por la actividad del hombre en una medida tal, que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o alguno de ellos, a los que podrían servir en estado natural.

La preocupación por la contaminación de las aguas puede sintetizarse en algunas situaciones y efectos como:

- Distribución de los limitados recursos hidráulicos.
- Disminución de la calidad del agua para abastecimiento de las poblaciones, uso para riego o industria, puesto que todos estos usos tienen limitaciones cualitativas.
- Supresión del poder autodepurador de los cauces receptores, con destrucción de flora y fauna.
- Afecta a los asentamientos humanos, la pesca y los deportes, a los visitantes y turistas.
- Es un peligro potencial que atañe directamente a la salud pública, influye en la economía, recreo y esparcimiento.
- Requiere inversión para un tratamiento adecuado para la utilización del agua.

IMPUREZAS EN EL AGUA

Las aguas de los mares, lagos y ríos tienen impurezas, no incluidas dentro del concepto de contaminación, ya que al atravesar como precipitación las nubes y la atmósfera, y al escurrir por el suelo o a través de él, han incorporado elementos o partículas, que dan origen a lo que se entendería como impurezas en el agua.

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

PARAMETRO mg/lit	CONTAMINACION FUERTE	CONTAMINACION MEDIA	CONTAMINACION LIGERA
Sólidos totales	1000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión totales	500	300	100
Volátiles	400	250	70
Fijos	100	50	30
Sólidos disueltos totales	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
D.B.O ₅ , A 10°C	300	200	100
Oxígeno Consumido	150	75	30
Oxígeno disuelto	0	0	0
Nitrógeno total	86	50	25
Orgánico	35	20	10
Amoniaco libre	50	30	15
Nitritos (NO ₂)	0,10	0,05	0,00
Nitratos (NO ₃)	0,40	0,20	0,10
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	40	20	0

ORIGEN	CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS POR EL TAMAÑO				
	SUSPENDIDAS S >2 X 10 ⁻⁴ mm	COLOIDALES <2 X 10 ⁻³ mm	>2 X 10 ⁻⁶ mm	DISUELTAS	<2 X 10 ⁻⁶ mm
ATMOSFERA	Polvo	Hollín	Moléculas Bióxido de carbono CO ₂ Anhídrico Sulfuroso SO ₂ Oxígeno O ₂ Nitrógeno N ₂	Iones positivos Hidrógeno H ⁺	Iones negativos Bicarbonato HCO ³⁻
SUELO MINERAL Y PIEDRA	Arena Arcillas Partículas de tierra mineral	Arcillas	Bióxido de carbono CO ₂	Sodio Na ⁺ Potasio K ⁺ Calcio Ca ²⁺ Magnesio Mg ²⁺ Hierro Fe ²⁺ Manganeso Mn ²⁺	Cloruro Cl ⁻ Fluoruro F ⁻ Sulfato SO ₄ ⁻ Carbonato CO ₃ ⁻ Bicarbonato HCO ₃ ⁻ Nitrato NO ₃ ⁻
ORGANISMOS VIVOS Y SUS PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN	Algas Diatomeas Bacterias Protozoos Tierra orgánica Peces y otros organismos	Virus Materia colorante orgánica	Bióxido de carbono CO ₂ Oxígeno O ₂ Nitrógeno N ₂ Sulfato de hidrógeno H ₂ S Metano CH ₄ Residuos orgánicos varios, algunos de los cuales producen olor y color		

ORGANISMOS PATOGENOS COMUNMENTE ENCONTRADOS EN AGUAS
RESIDUALES

ORGANISMOS	ENFERMEDAD	OBSERVACIONES
Ascaris spp; enterobius spp	Lombrices de nemátodos.	Implica peligro de contagio a humanos por efluentes de aguas residuales y lodos secos usados como fertilizante.
Bacillus anthracis	Antrax	Se encuentra en agua residual. Las esporas son resistentes al tratamiento.
Brucella spp	Brucelosis. Fiebre de Malta en el hombre. Aborto contagioso en carneros, cabras y reses.	Transmitida normalmente por la leche infectada o por contacto. Se sospecha también por las aguas residuales.
Entamoeba histolytica	Disentería.	Es diseminada por agua contaminadas y lodos empleados como fertilizante. Común en climas calientes.
Leptospira icterohemorrhagiac	Leptospirosis (Enfermedad de Weil)	Transportada por ratas de drenajes
Mycobacterium tuberculosis	Tuberculosis	Se le ha aislado de agua residual y corrientes contaminadas. Las aguas residuales son un posible forma de transmisión. Deberá tenerse cuidado con aguas residuales y lodos de sanatorios.
Salmonella paratyphi	Fiebre paratifoidea	Es común en aguas residuales y efluentes en épocas de epidemia.
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Es común en aguas residuales y efluentes en época de epidemia
Salmonella spp	Envenenamiento de alimentos	Es común en aguas residuales y efluentes.
Schistosoma spp	Esquistosomiasis.	Probablemente es destruida por un tratamiento eficiente.
Shigella spp	Disentería bacilar	Las aguas contaminadas son las principal fuente de infección.
Taenia spp	Solitaria.	Los huevos son muy resistentes, están presentes en lodos y efluentes de aguas residuales. Representan peligro para el ganado en tierras irrigadas con aguas residuales o abonadas con lodos de ellas.
Vibrio choleras	Cólera	Es transmitido por aguas residuales y aguas contaminadas
Virus	Poliomielitis, hepatitis	Se desconoce aún la forma exacta de transmisión. Se encuentran en efluentes de plantas de tratamiento biológico.

PROPOSITO DEL TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA TRATADA

El propósito del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de sustancias contaminantes para cumplir con dos objetivos principales:

- Control de la contaminación del agua para cumplir con legislación vigente y evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos receptores (agua o suelo).
- Reusar el agua tratada en aquellas aplicaciones en las que no se requiere agua de calidad potable, o cuando el agua tratada pueda ser reutilizada en la industria, agricultura, acuicultura, etc.

Control de la contaminación, consiste además en tratar las aguas residuales para recuperar, sanear o rehabilitar cuerpos de agua degradados como se hizo en los ríos Támesis y el Danubio, y como actualmente se está haciendo en México para sanear el río Lerma.

El reuso de aguas tratadas, ya sea en forma directa o indirecta, es un método de disposición que complementa los otros métodos de disposición en el medio ambiente acuático (lagos, ríos, estuarios, océanos).

La cantidad del agua tratada que pueda ser reusada dependerá de: 1o. disponibilidad 2o. costos del agua de primer uso; 3o. costos de tratamiento y de conducción, 4o. de los criterios, estándares o normas de calidad de agua y 5o. del potencial de reuso o de recirculación del agua tratada.

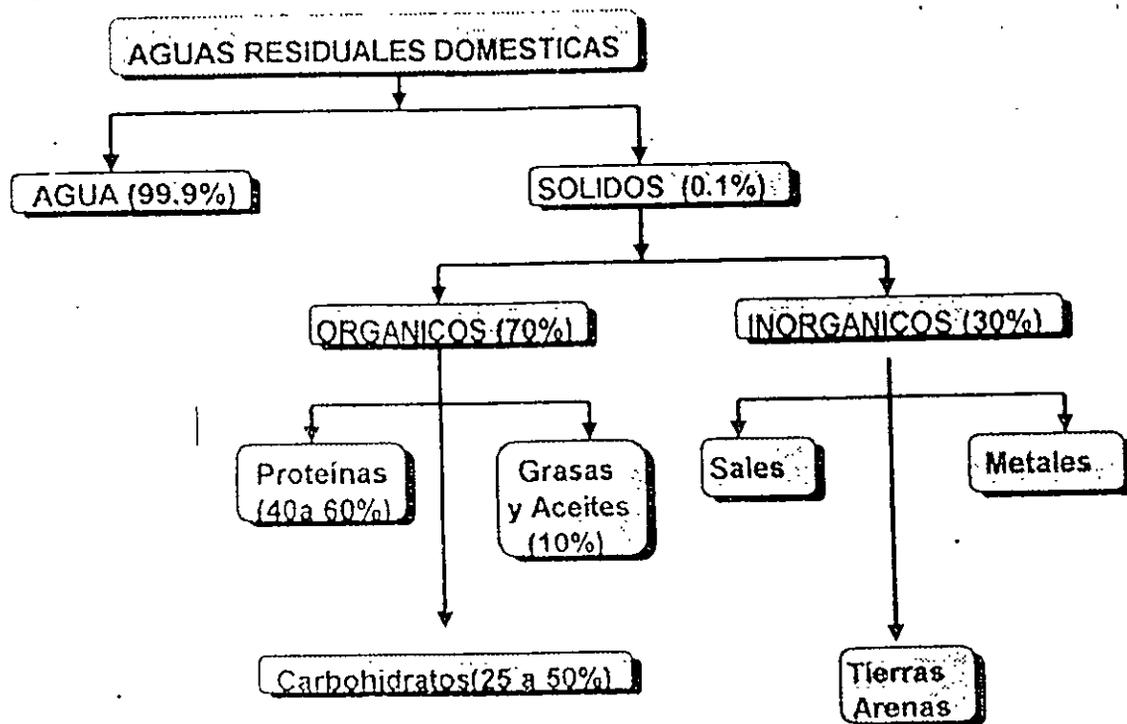
El reuso del agua tratada, puede clasificarse de acuerdo a su aplicaciones en:

- **Reuso potable.** Recarga de acuíferos, dilución en aguas naturales.
- **Reuso doméstico.** Suministro doble, en el que el agua tratada se reusa en excusados, mingitorios y riego de áreas verdes, rellenos sanitarios, terracerías.
- **Reuso municipal.** Riego de áreas verdes, campos de golf, lavado de calles y automóviles y agua para incendio.
- **Reuso industrial.** Enfriamiento, generación de vapor, alimentación a procesos que no tienen contacto con alimentos, bebidas o medicamentos, riego de áreas verdes y recarga de acuíferos para usos industriales, inyección al "escudo" en excavaciones
- **Reuso agrícola.** Riego de terrenos agrícolas, forestales y de pastoreo.
- **Reuso piscícola** Criadero de peces.
- **Reuso recreativo** Sin contacto directo: veleo, remo, lagos artificiales.
Con contacto directo natación, pesca deportiva, etc.
- **Reuso recarga de acuíferos para otros usos**

⇒ **Directo:** para el control de intrusión salina, control del balance de sales en aguas subterráneas

⇒ **Indirecto:** para el control de problemas de hundimientos de suelo, para activar represuración en pozos petroleros y para compactar suelos.

La siguiente figura muestra en forma resumida la composición de las aguas residuales domésticas



Composición de las Aguas Residuales Domésticas

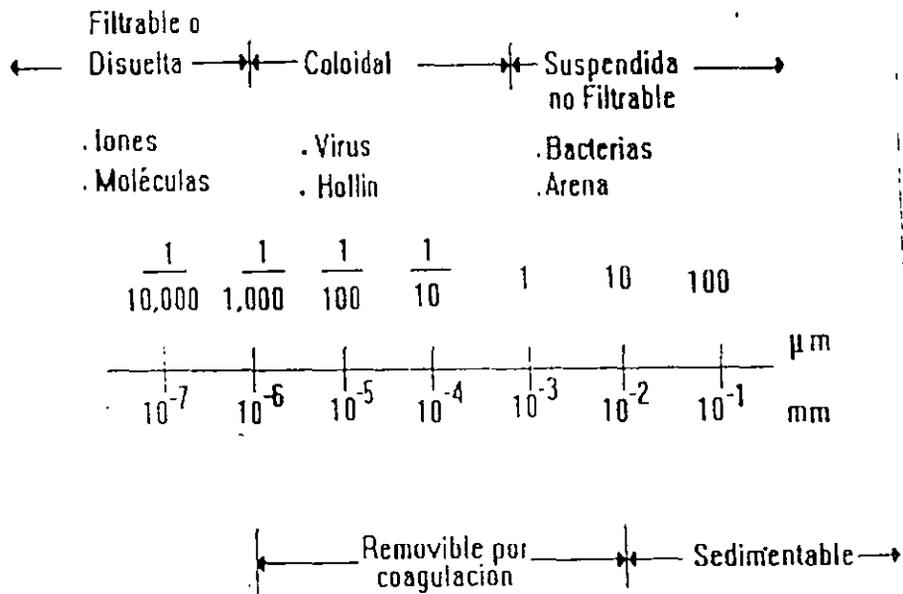
CARACTERISTICAS O PARAMETROS DE LAS AGUAS RESIDUALES

FISICAS	QUIMICAS	BIOLOGICAS
<ul style="list-style-type: none"> ◆ SOLIDOS ◆ TEMPERATURA ◆ COLOR ◆ OLOR 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ORGANICAS <ul style="list-style-type: none"> ⇒ DBO, DQO, COT ⇒ Proteínas ⇒ Carbohidratos ⇒ Lípidos ⇒ Espumante ⇒ Fenoles ⇒ Plaguicidas ◆ INORGANICOS <ul style="list-style-type: none"> ⇒ pH ⇒ Cloro ⇒ Alcalinidad ⇒ Nitrógeno ⇒ Fósforo ⇒ Metales pesados ⇒ Materia tóxica ◆ GASES <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Oxígeno ⇒ Acido Sulfhídrico ⇒ Metano 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ PLANTAS ◆ ANIMALES ◆ BACTERIAS ◆ PROTOZOOS ◆ VIRUS ◆ HONGOS

PROCESOS AMBIENTALES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AGUA

CLASIFICACION	PROCESO	DESCRIPCION	PROCESOS UNITARIOS DEL TRATAMIENTO
FISICOQUIMICOS	Fotólisis	Transformación química de compuestos presentes en el agua, al entrar ésta en contacto con la luz, dependiendo de la estructura química de aquéllos	Procesos biológicos y desinfección
	Hidrólisis	Interacción de un grupo hidroxilo (-OH) con la estructura de compuestos orgánicos, con la pérdida de un grupo funcional, la velocidad de reacción puede incrementarse con la presencia de un ácido o una base	Precipitación química, coagulación, floculación y oxidación química
	Oxidación	Introducción de un átomo de oxígeno en un compuesto químico. En el caso de la materia orgánica carbonácea, puede inducir su descomposición hasta dióxido de carbono y agua	Mezcla, transferencia de gases, oxidación química, procesos biológicos y desinfección
	Especiación Química	Dependiendo de sus características, un compuesto puede ser precipitado, adsorbido o absorbido por materia orgánica e inorgánica, permanecer en fase líquida como ión o formar moléculas complejas.	
DE TRANSPORTE	Volatilización	Se presenta en compuestos químicos orgánicos e inorgánicos con alta presión de vapor o baja solubilidad	Mezcla y transferencia de gases
	Sorción	Proceso por el cual un componente se transfiere de una fase para acumularse en otra, particularmente cuando la segunda es sólida. Se divide en absorción y adsorción	Sedimentación, filtración, adsorción, precipitación química, coagulación y procesos biológicos
	*Absorción	Se produce cuando las moléculas o átomos de una fase penetran uniformemente en otra, formando una solución en ella	
	*Adsorción:	Es la acumulación de sustancias en una superficie o interfase, ya sea líquido-líquido, gas líquido o líquido-sólido	
BIOLOGICOS	Bioacumulación	Tendencia de ciertos compuestos químicos a acumularse en especies vivas, especialmente importante en compuestos químicos hidrofóbicos solubles dentro de tejidos grasos o lípidos	Procesos biológicos
	Biodegradación	Transformación de compuestos químicos en otros más simples, debida a las enzimas propias de organismos vivos, demandantes de energía y carbono	Procesos biológicos

Clasificación y tamaño de partículas encontradas en el agua



Recordemos que se habla de "contaminación del agua" cuando su calidad sufre una transformación que la hace inadecuada para un uso particular. Generalmente el término se aplica en relación con la calidad del "agua natural", aunque no existe una sola calidad de la misma en todo el ambiente natural.

SOLIDOS

SOLIDOS TOTALES. El material que arrastran las aguas residuales. Desde el punto de vista analítico los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua entre 103 y 105°C

SOLIDOS SEDIMENTABLES. Sólidos en suspensión que pueden llegar a sedimentar en condiciones de reposo, debido a la influencia de la gravedad.

SOLIDOS SUSPENDIDOS NO SEDIMENTABLES. Son componentes de los totales, cuyo tamaño es menor de 10 micras (10^{-2} mm)

SOLIDOS DISUELTOS O FILTRABLES. Son componentes de los totales. Comprenden partículas del tamaño de iones y moléculas que pasan por un filtro menor de 10^{-6} mm.

SOLIDOS FIJOS Y VOLATILES, en función a su volatilidad a 600°C, la fracción orgánica se oxida, convirtiéndose en gas (sólidos volátiles) y la orgánica permanece como ceniza. (sólidos fijos).

TEMPERATURA

Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual, usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua del abastecimiento, ya que recibe calor por los usos.

La temperatura es importante porque afecta a la vida acuática tanto de la fauna como de la flora, afecta también la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases. Por ejemplo al aumentar la temperatura se disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua y también se aumenta la velocidad de degradación de los compuestos orgánicos.

Temperaturas muy altas pueden fomentar el crecimiento de especies indeseables de plancton y hongos a los cuales los limitan las bajas temperaturas y que podrían incrementar el tiempo de tratamiento o el tamaño de la planta de tratamiento.

COLOR

El color de las aguas domésticas es generalmente una indicación de su edad, el agua residual doméstica presenta color gris cuando se acaba de generar, pero posteriormente se vuelve de color negro, debido a la actividad de los organismos anaerobios, que descomponen la materia orgánica y producen ácido sulfhídrico y metano.

Las aguas residuales industriales pueden contener muchas sustancias colorantes, por ejemplo la industria textil, celulosa y papel, petrolera y petroquímica.

OLOR

Los olores en las aguas residuales son causados por los gases de la descomposición orgánica por la actividad microbiana aerobia, por compuestos industriales y por las reacciones de los componentes cuyo tratamiento es por procesos químicos.

PARAMETROS QUIMICOS ORGANICOS

La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y compuestos sintéticos orgánicos creados por el hombre. Los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son las **proteínas** (40 a 60 %), **carbohidratos** (25 a 50%), y **grasas y aceites** (10%). (Ver figura 2.1) Además, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, desde simples hasta estructuras extremadamente complejas como son los fenoles, detergentes, plaguicidas, entre otros.

Las **proteínas** son los constituyentes químicos más importantes de la materia viva. Son compuestos cuaternarios en los que predomina el carbón, el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno (CHON). Se comportarán como ácidos o bases según el pH del medio en que se encuentren, pueden flocular a un pH determinado llamado punto isoeléctrico.

Los **carbohidratos** (glucidos ó azúcares) se componen de 3 elementos C.H.O., respondiendo a la fórmula general $C_m (H_2O)_n$ de donde proviene el título de hidratos de carbono.

Como ejemplo citaremos entre los glucidos a la glucosa, el almidón, dextrina, glucógeno, celulosa, etc.

Las **grasas** o lípidos son ésteres de ácidos grasos y de alcoholes más ó menos complejos, son sustancias grasosas de bajo punto de fusión. Pueden emulsionarse en el agua en la cual son en general insolubles.

La presencia de materia orgánica biodegradable en los cuerpos receptores reduce la cantidad de oxígeno. La presencia de materia orgánica no degradable o difícilmente degradable, complica el tratamiento de las aguas residuales.

Para facilitar la detección de la materia orgánica usualmente se recurre a medir parámetros indirectos como son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (TOC).

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO. La DBO, o demanda bioquímica de oxígeno, es el parámetro más usado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica.

La DBO del agua residual da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica mediante un tratamiento biológico, este parámetro se emplea además para medir la eficiencia del tratamiento y en general la DBO es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua, aunque la prueba para su determinación puede durar varios días, lo más común es tenerla a los 5 días y se indica como DBO_5 .

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO. Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte, tal como el dicromato de potasio, en medio ácido, alta temperatura y en presencia de sulfato de plata como catalizador.

La DQO es usualmente mayor que la DBO, ya que son oxidados químicamente una mayor cantidad de sustancias que en la forma bioquímica. Para muchos tipos de desechos la DQO se relaciona con la DBO; cuando se trata de desechos domésticos típicos la DQO es de 1.2 a 1.5 veces mayor que la DBO.

CARBONO ORGANICO TOTAL (COT) o (TOC). El contenido de carbono orgánico total es también una medida indirecta del contenido de materia orgánica. Su determinación se realiza mediante la combustión catalítica de muestras en un horno a alta temperatura y se mide el bióxido de carbono producido que es proporcional a la cantidad de carbono presente en la muestra. El contenido de bióxido de carbono se determina por espectrofotometría de infrarrojo.

PARAMETROS QUIMICOS INORGANICOS.

La presencia y concentración de estas sustancias pueden afectar a los organismos de las aguas receptoras por medio de limitantes del crecimiento o características tróficas. Las algas y plantas microscópicas son capaces de utilizar las sustancias inorgánicas como sustrato en su metabolismo. Los elementos que mayormente se utilizan como metabolitos inorgánicos son carbón, amoníaco-nitrógeno y fósforo. Los nutrientes solos no son desagradables en concentraciones normales; sin embargo si las condiciones naturales lo permiten, son aprovechados para el crecimiento de algas o de otras plantas y causa el aumento de carga orgánica en los cuerpos receptores creando una demanda del recurso oxígeno del agua natural.

Carbón, nitrógeno y fósforo están presentes en las aguas naturales, en formas disponibles para la vida de las plantas. En la mayoría de las aguas naturales, el fósforo está presente en bajas concentraciones, menor que el nitrógeno o el carbono. El fósforo sin embargo se necesita en pequeñas concentraciones para sustentar el crecimiento de las algas. Se han reportado crecimientos indeseables de algas cuando los niveles de fósforo inorgánico se encuentran en los rangos de 0.01 a 0.05 mg/lit. Se requiere nitrógeno en mayores concentraciones que el fósforo para el crecimiento de algas. Dependiendo de las condiciones de la corriente, el carbón inorgánico, el nitrógeno, o el fósforo pueden ser el factor limitante para el crecimiento de algas. Es necesario un estudio cuidadoso del balance de nutrientes y la vida vegetal en los cuerpos de agua, es necesario determinar cual nutriente puede ser removido de las descargas de aguas residuales para retardar en forma mas efectiva el crecimiento de algas.

pH. Es la medida de la acidez o basicidad del agua. Los valores de pH mayores de 7.5 y menores de 6.5 afectan a los organismos involucrados en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

ALCALINIDAD. Es la medida del contenido de iones hidróxido, bicarbonatos y carbonatos. Su efecto es limitante de la actividad biológica.

NITROGENO AMONIACAL. Es un nutriente biológico e interviene en el metabolismo bacteriano.

NITRATOS. Nutrientes biológicos.

FOSFATOS. Nutrientes biológicos.

METALES PESADOS. Indican contaminación industrial. Afectan el metabolismo microbiano por ser tóxicos.

OXIGENO DISUELTO. Es una medida de la actividad biológica. Se requiere para la respiración de organismos aerobios, de importancia en el tratamiento de aguas residuales.

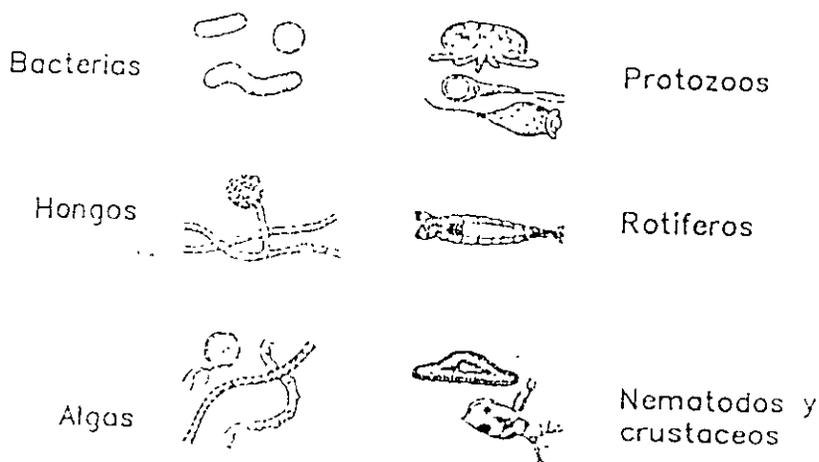
GASES. Los gases que se encuentran comúnmente en las aguas residuales crudas son; hidrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, amoníaco y metano. Aunque todos deben ser considerados en el diseño de los proceso de tratamiento, se debe poner atención a las concentraciones de oxígeno, ácido sulfhídrico y metano dentro de las aguas tratadas.

El oxígeno disuelto es necesario para todas las formas aeróbicas de vida aún dentro de las instalaciones o en las aguas receptoras. En ausencia de condiciones aerobias, (condiciones anaerobias), la oxidación proviene de la reducción de sales inorgánicas como los sulfatos, o a través de la formación de bacterias productoras de metano. Los productos finales entre ellos el ácido sulfídrico son siempre muy desagradables. Para eliminar posibles condiciones molestas en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y en las aguas naturales que reciben los efluentes, es importante que se mantenga un estado aerobio.

PARAMETROS BIOLÓGICOS:

Los microorganismos que son de importancia en el tratamiento de aguas residuales son: bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, crustáceos y virus. La degradación de la materia orgánica es el resultado de la vida de los microorganismos.

Microorganismos que intervienen en los tratamientos biológicos



BACTERIAS. Son organismos unicelulares microscópicos cuyo tamaño varía de 0.5 a 6 micras, que se alimentan con material orgánico e inorgánico soluble. Conforme a la temperatura, las bacterias pueden ser criófilas, mesófilas y termófilas, el rango en que mejor funcionan se encuentra entre 12 y 18 °C para las primeras, de 25 a 40 °C para las segundas y 55 a 65°C para las terceras.

En función del metabolismo, las bacterias se clasifican en autótrofas y heterótrofas, si la fuente de carbón proviene de sustancias inorgánicas para las autótrofas y de materia orgánica para las heterótrofas.

A su vez dichas bacterias pueden ser aerobias, anaerobia y facultativas, en función de las necesidades de oxígeno para su respiración, así las aerobias requieren oxígeno, las anaerobias no, y las facultativas viven en una y otra condición.

La presencia de organismos patógenos, o sea organismos que pueden causar daño a la salud de los seres humanos, se identifican mediante las bacterias del grupo coliforme y los estreptococos fecales que son los indicadores de contaminación bacteriológica del agua. Un indicador es un organismo que por su presencia demuestra que ha ocurrido la contaminación.

GRUPO COLIFORME. Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, en forma de bacilo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas en 24 horas a 35 °C. Este grupo heterogéneo no sólo está presente en las heces humanas, sino que se encuentra en otros ambientes como son aguas negras, aguas dulces superficiales, suelo y vegetación.

En el grupo de coliformes se encuentran las siguientes:

- a) *Escherichia coli*, *E. aureacens*, *E. freundii*, *E. intermedia*.
- b) *Enterobacter aerogenes*, *E. cloacae*.
- c) Intermediarios bioquímicos entre los géneros *Escherichia* y *Enterobacter*.

El grupo coliforme se subdivide en dos categorías: fecal y no fecal. Esta subdivisión se basa en la suposición de que *Escherichia coli* y otras cepas estrechamente relacionadas son de origen fecal, mientras que *Enterobacter aerogenes* y sus relativos más cercanos no son de origen fecal directo.

Las características que hacen de los coliformes buenos indicadores de contaminación son las siguientes:

a) Grupo coliforme total.

1) Ventajas.

- La ausencia de coliformes es una evidencia de la potabilidad bacteriológica del agua.
- La densidad de coliforme es una medida proporcional aproximada de la contaminación por desechos fecales.
- Si están presentes las bacterias patógenas de origen intestinal, las bacterias coliformes deben existir en mayor número, ya que están siempre presentes en el intestino de humanos y animales de sangre caliente, y se eliminan en gran número por las heces.
- Los coliformes persisten en medio acuático más que las bacterias patógenas de origen intestinal.
- Los coliformes son generalmente menos dañinos al hombre y pueden determinarse cuantitativamente por los procedimientos rutinarios de laboratorio..

2) Desventajas.

- Algunos miembros del grupo coliforme tienen una amplia distribución en el medio ambiente en comparación a su presencia en los intestinos de animales de sangre caliente.
- Algunas cepas del grupo coliforme pueden crecer en aguas contaminadas y por consiguiente esto hace difícil la evaluación de la presencia o grado de contaminación.
- Otras bacterias pueden interferir con la prueba de los coliformes dando resultados falsos positivos o falsos negativos, por ejemplo. *E. aerogenes* o *Pseudomonas*.

b) Grupo coliforme fecal.

1) Ventajas.

- El 95% de los coliformes de origen fecal da positiva la prueba de la temperatura.
- Estos organismos están relativamente ausentes si la contaminación no es de origen fecal.
- El tiempo de supervivencia del grupo coliforme fecal en aguas es más corto que el de los coliformes no fecales. Por consiguiente una densidad alta de coliformes fecales indica una contaminación relativamente reciente.
- Los coliformes fecales generalmente no se multiplican fuera de los intestinos de los animales de sangre caliente.

2) Desventajas.

- Un número pequeño de coliformes fecales dá negativa la prueba de la temperatura.
- Actualmente se conoce poco acerca de la supervivencia relativa de los coliformes fecales y de las bacterias patógenas entéricas en aguas contaminadas.

Grupo de los estreptococos fecales. Indican una contaminación peligrosa y demuestran que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentran. Son característicos de la contaminación fecal y están presentes en las heces humanas y de animales de sangre caliente. Se definen como: "Cocos gran +", que forman generalmente pares o cadenas cortas, crecen en presencia de sales biliares, se pueden multiplicar y desarrollar a 45 °C, producen ácido pero no gas cuando fermentan manitol y la lactosa, no fermentan la rafinosa ni reducen los nitratos a nitritos, producen ácido en leche tornasolada precipitando la caseína, resistentes al calor, a condiciones alcalinas y a elevadas concentraciones de sales.

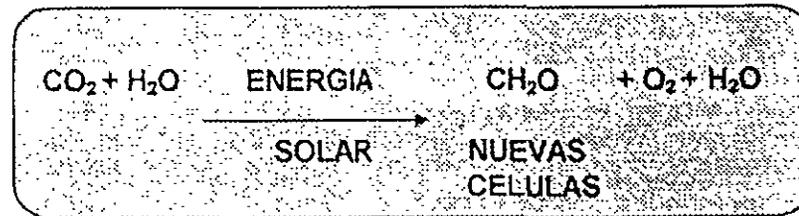
Ventajas y desventajas de los análisis de estreptococos fecales.

- Viven menos tiempo en el medio acuático que el grupo de coliformes, excepto cuando el agua tiene un contenido elevado de electrólitos como son las aguas de riego.
- No se reproducen con tanta frecuencia como los coliformes, ya que requieren mayor número de nutrientes.
- Desarrollan resistencia a los proceso de cloración del agua, mientras que los coliformes son más susceptibles a la desinfección por cloración.
- La relación CF/EF (coliformes fecales/estreptococos fecales) nos indica que: si es mayor de 4.0 la contaminación es de origen fecal humano, y si la relación es menor de 0.7 el origen de la contaminación es fecal no humana.

El análisis bacteriológico del agua se determina mediante la prueba de Tubos Múltiples, teniendo como resultado el número más probable de bacterias coliformes por cada 100 ml. (NMP/100 ml), también se utiliza el método de filtro de membrana.

HONGOS. Son organismos multicelulares no fotosintéticos (su fuente de energía es diferente a la solar) y heterótrofos. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos y tienen la propiedad de vivir a niveles de pH muy bajos, del orden de 2 unidades y altos cercanos a 9, lo cual les hace ser importantes en el tratamiento de desechos industriales y en la digestión o composteo de desechos sólidos.

ALGAS. Son organismos unicelulares o multicelulares, autótrofos y fotosintéticos. Esta última propiedad tiene importancia en el tratamiento de aguas residuales, mediante lagunas de estabilización aerobias, puesto que en la reacción de fotosíntesis se forma oxígeno, según la siguiente ecuación:



PROTOZOARIOS. Son organismos microscópicos usualmente unicelulares. Son en su mayoría aeróbicos, heterótrofos y utilizan las bacterias como fuente de energía al ingerirlas, con lo cual ejercen una acción de pulimento en los procesos biológicos.

ROTÍFEROS. Son organismos aeróbicos, heterótrofos y multicelulares. Son muy efectivos en el consumo de bacterias dispersas y pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia indica una alta eficiencia de remoción en los procesos aeróbicos biológicos.

CRUSTÁCEOS. También son organismos aeróbicos, heterótrofos y multicelulares; indican efluentes con bajos contenidos de materia orgánica y altas concentraciones de oxígeno disuelto.

VIRUS. Son organismos de tamaño menor, que sólo pueden verse con el microscopio electrónico. Son parásitos obligados que requieren de un huésped (célula) para vivir y reproducirse. Dado que algunos virus producen enfermedades y son excretados con la materia fecal humana, se requiere eliminarlos usualmente mediante cloración de los efluentes de las plantas de tratamiento.

PRINCIPALES PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.

PARAMETRO	UNIDAD	DESCRIPCION.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	Cantidad de oxígeno requerida por la materia orgánica disuelta para su descomposición
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	Cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de toda la materia oxidable, incluyendo materia orgánica e inorgánica
Oxígeno Disuelto	mg/l	Oxígeno molecular disuelto en el agua, indispensable para la supervivencia de la mayoría de los organismos aerobios.
Coliformes Fecales y Totales	NMP/100 ml	Grupo de bacterias que tienen su desarrollo en el conducto intestinal de los humanos; su presencia indica contaminación fecal y, posiblemente, por bacterias patógenas.
Sustancias activas al azul de metileno (saam)	mg/l	(Detergentes) Sustancias solubles que abaten la tensión superficial, desintegran las partículas aglomeradas y emulsifican las grasas. Pueden ser inhibitorias de los procesos biológicos de tratamiento.
Nitrógeno de Nitritos y Nitratos	mg/l	El primero representa una etapa intermedia de oxidación; el nitrógeno de nitratos es el producto final de la oxidación del nitrógeno.
Nitrógeno Amomiacal	mg/l	Junto con el nitrógeno orgánico integra el nitrógeno total que, aun cuando es un nutriente bioestimulante que beneficia los procesos biológicos, puede causar eutroficación en cuerpos receptores. Se encuentra como sales de amoníaco o como amoníaco libre; en el agua residual indica contaminación reciente con productos nitrogenados.
Fosfatos Totales	mg/l	El fósforo es un nutriente que también puede estimular el crecimiento de algas; proviene de la excreción humana y de los detergentes.
Grasas y Aceites	mg/l	Incluyen grasas de origen vegetal, animal y derivados del petróleo; pueden causar obstrucciones en las líneas de conducción, formación de natas o inhibición del desarrollo de poblaciones bacterianas.
Conductividad	µS/cm	Se relaciona con la concentración de sólidos disueltos, y es proporcional al pH, la turbiedad y el color.
Alcalinidad	mg/l	La acidez y la alcalinidad miden la capacidad de la muestra para reaccionar con los iones oxhidrilos y los iones hidrógeno, respectivamente. Se dividen en alcalinidad a la fenolfaleina y al anaranjado de metilo o total. Se expresa en mg/l como CaCO ₃ . Ayuda a amortiguar los cambios en el pH, aunque puede ser perjudicial para los procesos biológicos y causar problemas por incrustaciones en los conductos.
Dureza Total	mg/l	Propiedad debida a la presencia de iones metálicos de calcio y magnesio, principalmente, además del fierro y el estroncio; evita que el jabón haga espuma y produce incrustaciones en los sistemas de agua caliente. Causa desventajas económicas, aunque no representa un riesgo para la salud.
Potencial Hidrógeno (pH)	unidades	Es el logaritmo común negativo de la actividad del ion hidrógeno. Es una medida del equilibrio ácido-base de compuestos disueltos.
Color	unidades	El color aparente indica la presencia de sustancias disueltas y suspendidas en el agua; si las segundas son removidas, se dice que el color es verdadero. Para su determinación existen métodos colorimétricos visuales e instrumentales.
Sólidos Sedimentables	ml/l	Los sólidos presentes en el agua se dividen en sedimentables, disueltos y suspendidos. Los sedimentables se miden mediante su decantación en un cilindro de un litro. También se pueden medir en un cono irahoff.
Sólidos Disueltos, Suspendidos, Fijos y Volátiles	mg/l	Los disueltos se deben a materia soluble y los suspendidos son partículas discretas que se retienen en un filtro. Cada uno se divide, a su vez, en sólidos fijos, que son aquellos que quedan después de la calcinación de la muestra, y volátiles, el resto del peso original de la misma; son un índice del contenido de materia mineral y orgánica, respectivamente.
Metales Pesados	mg/l	Algunos metales tienen efectos tóxicos sobre la materia viva, aun en concentraciones mínimas. Los principales son el plomo, el manganeso, el cromo hexavalente, el cadmio y el mercurio.
Turbiedad TU	unidades	La turbiedad es la prioridad que impide la penetración de la luz en la muestra. En campo se mide con el disco de secchi o con un alambre de platino; en laboratorio, con el turbidímetro de jackson o mediante técnicas nefelométricas. Tiene relación directa con la materia sólida presente en el agua.
Cloruros	mg/l	Son sustancias inorgánicas presentes en la orina, no removibles en procesos biológicos. Indican posible infiltración de agua salobres o, en combinación con nitritos, nitratos y amoníaco, contaminación de las aguas residuales.

NOTA: Número más probable = NMP
Unidades de turbiedad = UT

CARACTERIZACION DE LAS DESCARGAS

El caudal y las características del agua residual generada por una población, son función del tipo de actividades que se desarrollan dentro de cada localidad, siendo características específicas de cada una de ellas, por lo que es necesario aforar, muestrear y analizar las aguas residuales en forma particular.

Un estudio para conocer las características de las descargas de agua residual incluye, diversas actividades como: inspección global del sistema de alcantarillado, localización de zonas (residencial, industrial y de servicio), localización de la o las descargas, medir las descargas, establecer los sitios de muestreo, coleccionar muestras y analizarlas.

Es necesario contar con el plano de alcantarillado y en él localizar la o las descargas con sus cotas de la plantilla, localizar también los pozos de visita que se encuentran cerca de éstas conocer los niveles tanto de plantilla como del terreno. Se deben localizar en el plano las principales industrias existentes en la población, con todos los datos de sus efluentes (gastos, análisis físico-químicos, tratamientos) y horarios de funcionamiento. Localizar las zonas habitacionales y los establecimientos que hagan grandes aportaciones de aguas residuales (clubes, internados, baños públicos, etc).

Es importante también contar con datos del sistema de agua potable como son dotación, gasto real y variaciones horarias para poder conocer el comportamiento promedio del abastecimiento de agua durante el día, semanas, meses y de ser posible de todo un año ya que estos nos señalarán el comportamiento del agua que escurre en los drenajes y en las descargas, datos que se requieren para el diseño de la planta.

Deberá hacerse un recorrido por las partes que se consideran importantes, entre ellas la o las descargas, los pozos de visita, y los lugares en que se tomaran las muestras y se harán mediciones del caudal.

Los métodos de análisis que se utilizan para definir las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales, son los establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas y en ausencia de estas son las señaladas en la publicación "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER", preparada y publicada conjuntamente por la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION Y WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION de los Estados Unidos de América.

Las unidades de uso común para expresar los resultados de los análisis físicos y químicos que describen las características correspondientes de las aguas residuales son:

BASE	APLICACIÓN	UNIDAD
ANÁLISIS FÍSICO		
⇒ DENSIDAD	Masa de solución	kg/m ³
	Unidad de Volumen	
⇒ PORCIENTO VOLUMEN EN	Volumen soluto x 100	% (por vol)
	Total volumen solución	
⇒ PORCIENTO EN MASA	Masa de soluto x 100	% (por masa)
	Combinación masa soluto + solvente	
⇒ RELACIÓN EN VOLUMEN	mililitros	ml/l
	litros	
⇒ MASA POR UNIDAD DE VOLUMEN	Microgramos	µg/l
	litros de solución	
	miligramos	mg/l
	litros de solución	
	gramo	g/m ³
	metros cúbicos de solución	
⇒ RELACIÓN DE MASA	Miligramos	ppm
	10 ⁶ miligramos	
ANÁLISIS QUÍMICOS		
⇒ MOLARIDAD	Moles de soluto	mol/kg
	1000 gramos de solvente	
	moles de soluto	mol/l
	litros de solución	
	equivalente de soluto	equiv/l
	litros de solución	
	Milequivalentes de soluto	meq/l
litros de soluto		

ANALISIS PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS FISICAS EN AGUA Y AGUAS RESIDUALES

PRUEBA	ABREVIATURA	DEFINICION	USO
♦ TURBIEDAD	UNT	Unidades Nefelométricas de turbiedad	Estimar la claridad del agua
♦ SOLIDOS			
Sólidos totales	ST		Evaluar el potencial de las aguas residuales para rehuso y determinar el proceso más apropiado para su tratamiento
Sólidos totales volátiles	STV		Rehuso y determinar el proceso más apropiado para su tratamiento
Sólidos suspendidos	SS		
Sólidos suspendidos volátiles	SSV		Materia orgánica para procesos biológicos
Sólidos disueltos totales (ST-SS)	SDT		Las pruebas de SDT evalúan la adecuabilidad de las fuentes de agua para uso municipal, industrial o agrícola
Sólidos sedimentables ml/l			Para determinar aquellos sólidos que asentarán por acción de la gravedad en un periodo de tiempo específico, los datos de la prueba se utilizan para diseño de instalaciones de sedimentación
♦ COLOR		Varios matices de amarillo, café claro, gris negro	Para evaluar la presencia de agentes colorantes naturales y sintéticos en el agua. Para evaluar la condición del agua residual (fresca o séptica)
♦ OLOR	CUMOD	Conocer umbral mínima de olor detectable	Para conocer septicidad o frescura del agua residual
♦ TEMPERATURA	°C		Para diseñar y operar sistemas de tratamiento biológico y de otro tipo; para determinar la concentración de saturación

ANALISIS PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS FISICAS EN AGUA Y AGUA RESIDUAL

<i>PRUEBA</i>	<i>ABREVIATURA</i>	<i>DEFINICIÓN</i>	<i>USO</i>
♦ TURBIEDAD	UNT	Unidades Nefelométricas de turbiedad	Estimar la claridad del agua
♦ SÓLIDOS			
Sólidos totales	ST		Evaluar el potencial de las aguas residuales para rehuso y determinar el proceso más apropiado para su tratamiento
Sólidos totales volátiles	STV		Rehuso y determinar el proceso más apropiado para su tratamiento
Sólidos suspendidos	SS		
Sólidos suspendidos volátiles	SSV		Materia orgánica para procesos biológicos
Sólidos disueltos totales (ST-SS)	SDT		Las pruebas de SDT evalúan la adecuabilidad de las fuentes de agua para uso municipal, industrial o agrícola
Sólidos sedimentables ml/l			Para determinar aquellos sólidos que asentarán por acción de la gravedad en un periodo de tiempo específico; los datos de la prueba se utilizan para diseño de instalaciones de sedimentación
♦ COLOR		Varios matices de amarillo, café claro, gris negro.	Para evaluar la presencia de agentes colorantes naturales y sintéticos en el agua. Para evaluar la condición del agua residual (fresca o séptica)
♦ OLOR	CUMOD	Conocer un bal mínima de olor detectable	Para conocer septicidad o frescura del agua residual
♦ TEMPERATURA	°C		Para diseñar y operar sistemas de tratamiento biológico y de otro tipo; para determinar la concentración de saturación

Nutrientes aportados por actividades humanas.

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de plantas y animales. Por esta razón a estos elementos se les conoce como nutrientes o bioestimulantes.

Desde el punto de vista de calidad del agua son de interés:

NITROGENO ORGANICO UREA -----> [CO(NH₂)₂]
 AMONIACO -----> NH₃ NITRATOS -----> NO₃⁻
 NITRITOS -----> NO₂⁻ NITROGENO (gas) -----> N₂

<i>ORTOFOSFATO</i>	<i>POLIFOSFATO</i>
Fosfato trisodico (Na ₃ PO ₄)	Exametafosfato de sodio [Na ₃ (PO ₃) ₆]
Fosfato disodico (Na ₂ HPO ₄)	Tripolifosfato de sodio Na ₅ P ₃ O ₁₀
Fosfato monosodico (Na ₂ H ₂ PO ₄)	Pirofosfato tetrasodico Na ₄ P ₂ O ₇
Fosfato Diamonico [(NH ₄) ₂ HPO ₄]	Fósforo orgánico

(La concentración de fósforo en efluentes tratadas es de 10 a 20 mg/l)

pH

Cuando se disuelven en el agua contaminantes que tienen grupos H⁺ ó OH⁻ ionizables, el equilibrio entre H₂O₁⁺ y OH⁻ cambia y el valor del pH aumenta (se torna mas básico) o disminuye (se torna mas ácido).

El pH es sumamente importante en la ingeniería sanitaria y ambiental, porque afecta a las reacciones químicas y a los sistemas biológicos.

Características químicas

MATERIA ORGANICA

La presencia de materia orgánica en el agua es indeseable porque:

- ◆ puede producir olores.
- ◆ puede impartir olores y sabores.
- ◆ causa disminución del oxígeno disuelto en ríos y lagos.
- ◆ interfiere con los procesos de tratamiento.
- ◆ Forma compuestos halogenados cuando se agrega cloro al agua con fines de desinfección.

PLAGUICIDAS Y AGROQUIMICOS

En general se agrupan en cuatro categorías principales con base en su estructura molecular.

- ◆ Hidrocarburos clorados - Aldrin, DDT
- ◆ Organo fosforados - Malation
- ◆ Carbamatos - Carbil
- ◆ Derivados de Urea - Fenuron

SOLVENTES PARA LIMPIEZA

Algunos de los compuestos orgánicos de esta categoría se sabe o se sospecha que son carcinógenos. Recientemente se han detectado en las aguas subterráneas en las proximidades de instalaciones industriales. Algunos de los más comunes son: acetona, Benceno, Alcohol metílico, Heptano, Tricloroetano.

TRIHALOMETANOS (THM)

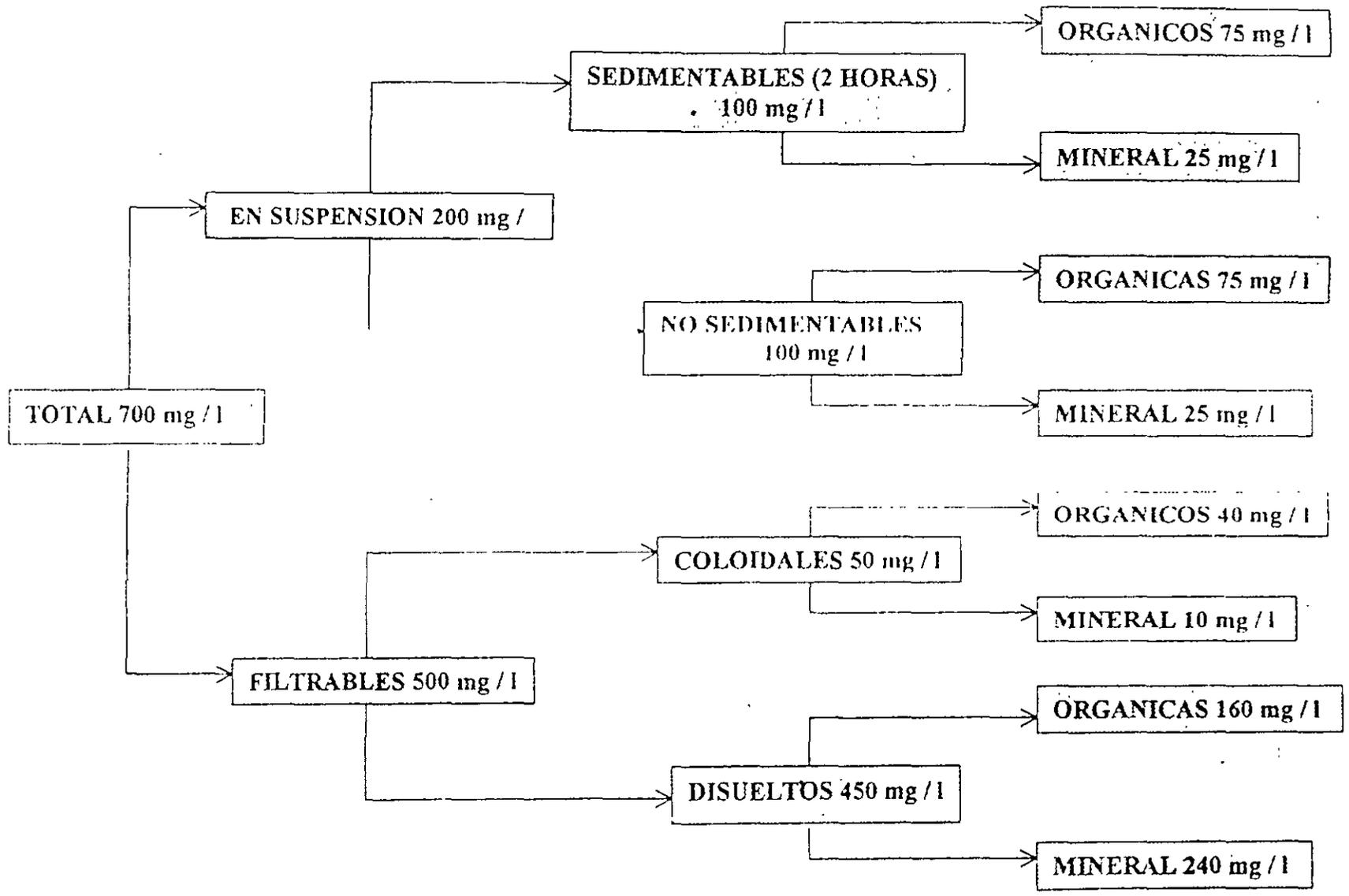
Se ha descubierto que el cloro que se utiliza para la desinfección del agua y de las aguas residuales, puede reaccionar con algunos de las sustancias orgánicas presentes para formar CLOROFORMO (un trihalometano) y otros hidrocarburos clorados.

Las sustancias orgánicas involucradas en la reacción con cloro se conocen como precursores. Se sospecha que estos compuestos son cancerígenos.

En general los THM se forman cuando elementos del grupo de los halógenos CLORO, BROMO, YODO reaccionan con las sustancias orgánicas.

Los principales THM de interés en aguas residuales

- CLOROFORMO - CHCl_3
- BROMODICLORAMETANO - CHCl_2Br
- CLORODIBROMOMETANO - CHClBr_2
- BROMOFORMO - CHBr_3



CLASIFICACION PROMEDIO DE SOLIDOS PRESENTES EN AGUA RESIDUALES DOMESTICAS

Características biológicas

Número más probable de coliformes

Los indicadores para identificar la contaminación biológica, son los organismos coliformes totales, coliformes fecales y los estreptococos fecales.

Lo más utilizados en México es la identificación de organismos coliformes por los métodos del Número más probable o del filtro de membrana.

La presencia de coliformes totales indica contaminación en general, ya que muchos de estos microorganismos pueden ser de origen vegetal, animal o humano, por lo que se hace necesario continuar la prueba y determinar cuantos de los coliformes encontrados son de origen humano.

La presencia de coliformes fecales humanos o de estreptococos fecales no se utiliza para determinar la toxicidad de estos, sino como indicador de contaminación por excreta humana, ya que las evacuaciones humanas siempre llevan bacterias patógenas procedentes de seres humanos enfermos o portadores asintomáticos de estas bacterias, es decir individuos que aunque no sientan síntomas de enfermedad en su intestino llevan las bacterias que pueden causar enfermedad (patógenas), se considera así, que si se encuentran coliformes, puede contener organismos causantes de muchas enfermedades.

Muestreo y preservación de muestras

El tipo de muestra y las técnicas de muestreo están determinadas en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), aquí se señalan algunas recomendaciones complementarias.

Técnicas de muestreo para aguas residuales.

Una muestra es parte de un todo, y esta muestra representará las características de este todo, en el caso que nos ocupa este todo será el agua residual que se está caracterizando, en determinado punto de la planta, ya sea de producción o de tratamiento de aguas. La mayoría de las conclusiones, decisiones y acciones que se tomen en el diseño y/o en la operación de la planta de tratamiento, dependerán en gran medida, de los resultados de la muestra.

Generalmente, las muestras se definen e identifican por el tipo y método de muestreo. Una muestra puede ser de tipo simple o compuesta y puede ser colectado por un método manual o automático.

Una muestra simple es aquella que se toma en un instante en particular, y representa las condiciones existentes en ese momento, este tipo de muestras se requieren para determinar ciertos parámetros, como por ejemplo: pH, cloro residual, oxígeno disuelto, grasas y aceites y coliformes totales y fecales. Algunas de estas determinaciones como pH, cloro residual, temperatura y oxígeno disuelto, pueden monitorearse en forma continua usando sensores. El uso de estos instrumentos reducen el tiempo entre muestreo y análisis además de ser precisos, sin embargo requieren de un programa periódico llevado por personal calificado, de limpieza, calibración y mantenimiento, de los equipos utilizados. Otras situaciones donde una muestra simple puede utilizarse es:

- ◆ Cuando el agua a muestrear no presenta variaciones considerables, en cuanto a sus características y al caudal.
- ◆ Cuando en la corriente en estudio o en la planta de tratamiento llega una descarga inusual, y a partir de esta muestra se trate de determinar el tipo y fuente de la descarga.
- ◆ Cuando el flujo de descarga de agua residual sea intermitente, por ejemplo en algunos procesos industriales
- ◆ Cuando las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas (ejem pH; temp).
- ◆ y cuando las autoridades respectivas requieren que se determinen cierto parámetros con muestras individuales.

El volumen mínimo de una muestra es de 1 a 2 litros.

Una muestra compuesta se forma por varias simples tomadas a diferentes tiempos. Estas muestras se obtienen mezclando muestras simple en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y en el momento del muestreo.

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUAL

CALIDAD DEL EFLUENTE

La calidad del efluente en cada caso particular es fijada por la COMISION NACIONAL DEL AGUA (CNA) y se debe cumplir con las normas NOM-001-ECOL 1996, NOM-002-ECOL 1996 y la norma NOM-003-ECOL-1997.

En general, los requisitos de control de calidad para una planta de tratamiento son pre-establecidos para el proyecto y son de dos tipos.

- a) Calidad del efluente, donde se fijan los valores limites de los parámetros que lo normen.
- b) Criterios de calidad de los cuerpos receptores. Frecuentementé se utiliza una combinación de los dos criterios.

Una vez establecida la zona del vertido y los cauces receptores con incidencia sobre el proceso de autodepuración, se puede seguir el siguiente método:

- Se analizan los regímenes hidrográficos de los distintos cursos en estudio, así como sus características físicas (velocidad, anchura, sección, etc.) estas últimas por mediciones directas.
- Se realizan los programas de análisis de aguas en los ríos en estudio, y en los vertidos urbanos e industriales.
- Se realizan asimismo estimaciones zonales de población y empleo al año horizonte (25 años), así como de la evolución industrial.
- Por último, se establecen los actuales y futuros usos previstos de las aguas en los diversos tramos en estudio.

CARACTERISTICAS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

DETERMINACION	RANGO DE VALORES gr/capita x día
• DBO ₅	45 – 54
• DQO	1.6 a 1.9 x DBO ₅
• Sólidos totales	170 – 220
• Sólidos suspendidos	70 – 145
• Sólidos disueltos	50 – 150
• Grasas	10 – 30
• Alcalinidad	20 – 30
• Cloruros	4 – 8
• Nitrógeno total (N)	5 – 12
Orgánico	0.4 x N total
Amoniacal	0.6 x N total
• Fósforo total (P)	0.8 - 4 0
Orgánico	0.3 x P total
Inorgánico	0.7 x P total

OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO Y SELECCION DE OPERACIONES Y PROCESOS

Anteriormente se mencionó que el influente varia en cantidad y calidad y esto debe tomarse en cuenta en el proceso de selección, hay que entender esto porque los procesos y operaciones unitarias deben tener la capacidad de manejar estas variaciones constantemente. A esta capacidad se le ha llamado "equilibrio" y se define como la tolerancia inherente que tiene el proceso de tratamiento de aguas residuales para las cargas de contaminantes que recibe la planta.

En general los principales objetivos del tratamiento de aguas residuales son:

- a) Remoción de sólidos suspendidos y flotantes
- b) Tratamiento de material orgánico biodegradable
- c) Eliminación de organismos patógenos.

Una vez establecidos los objetivos del tratamiento para un proyecto específico, el grado de tratamiento puede determinarse comparando las características de las aguas residuales crudas con los requisitos de la calidad del efluente

En una planta de tratamiento las varias combinaciones de operaciones y procesos unitarios trabajan como un "sistema" para el diseño deben usarse sistemas apropiados a las facilidades de diseño. La mayor parte de la selección de procesos es la evaluación de varias combinaciones de operaciones y procesos unitarios y sus interacciones.

Parte de la selección de procesos puede incluir consideraciones de igualación de gasto y reducción de cargas en las unidades de tratamiento. El proceso de evaluación debe hacerse en todas las unidades, además deben tomarse en cuenta las alternativas del proceso de lodos. El análisis del balance de masas representa un elemento crítico en la evaluación.

Para lograr el tratamiento deseado, pueden obtenerse alternativas con combinaciones de procesos que deberán evaluarse en sus aspectos constructivos, de adquisición de equipos, costos de inversión, operación y mantenimiento, simpleza operativa, disponibilidad de personal capacitado, área, topografía y características geológicas del terreno destinado a la construcción de la planta, para con ello seleccionar la mejor alternativa que sirva para desarrollar el proyecto ejecutivo.

Los contaminantes de las aguas residuales se remueven por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales comúnmente se clasifican como operaciones unitarias físicas y procesos unitarios químicos y biológicos.

Las operaciones unitarias físicas comprenden:

- Desbastado (cribado)
- Mezcla
- Floculación
- Igualación
- Sedimentación
- Flotación y
- Filtración
- Igualación y homogenización

Los procesos químicos son :

- Precipitación
- Transferencia de gases
- Adsorción y
- Desinfección

Los procesos biológicos emplean actividad biológica para la remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.

En tratamiento de aguas residuales, al empleo de operaciones unitarias físicas se le denomina TRATAMIENTO PRIMARIO; si se incluye la mezcla y floculación se le llama PRIMARIO AVANZADO; a la utilización de procesos químicos o biológicos se les refiere como TRATAMIENTO SECUNDARIO y a los que incluyen procesos químicos se les conoce como TRATAMIENTO Terciario.

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS UTILIZADOS PARA REMOVER CONTAMINANTES

CONTAMINANTES	OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS
• Sólidos suspendidos y flotantes	Sedimentación
	Cribado y desmenuzado
	Flotación
	Filtración
	Mezcla
	Floculación
• Orgánicos biodegradables	Lodos activados
	Filtros rociadores
	Discos biológicos
	Lagunas de estabilización
	Lagunas aeradas
	Tanques sépticos
	Filtros anaerobios
	Tratamientos en medios naturales.
• Organismos patógenos	Cloración
	Hipocloración

Las operaciones y procesos mencionados arriba se utilizan para el tratamiento del llamado TREN DEL AGUA, que a su vez genera lodos con alto contenido orgánico, los cuales deben tratarse en el denominado TREN DE LODOS, para convertirlos en productos inocuos. Los métodos recomendados para el tratamiento de lodos y su disposición se encuentran en la tabla

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS

FUNCION	OPERACIONES DE PROCESOS UNITARIOS Y METODOS DE TRATAMIENTO
• ESPESAMIENTO	ESPESADO POR GRAVEDAD
• ESTABILIZACION	CON CAL
	DIGESTION ANAEROBIA
	DIGESTION AEROBIA
• ACONDICIONAMIENTO	COAGULACION QUIMICA
• SECADO	FILTROS DE VACIO
	FILTROS DE BANDA HORIZONTAL Y RODILLOS A PRESION
	LECHOS DE SECADO
• DISPOSICION	RELLENOS
	ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS

TIPOS DE TRATAMIENTO Y OPERACIONES UNITARIAS

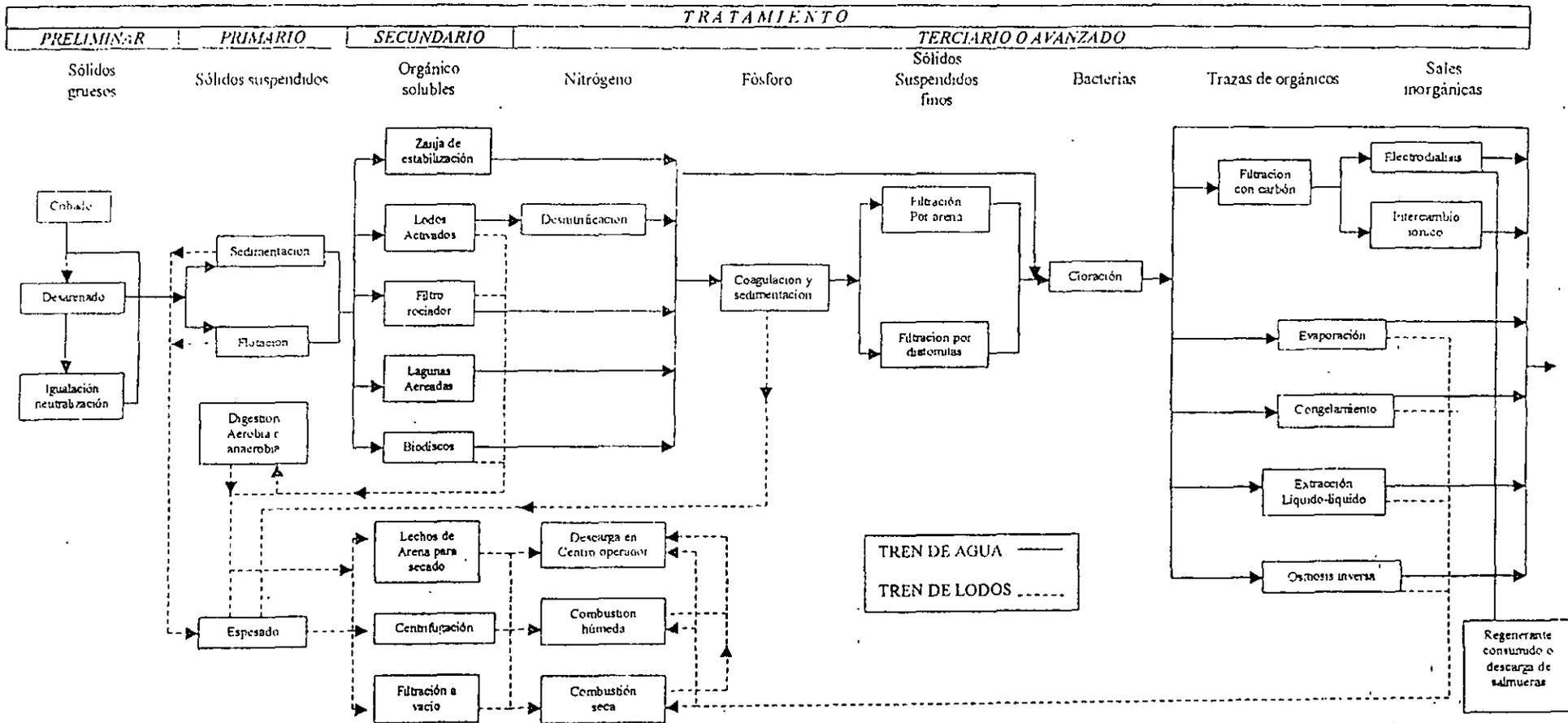
El agua residual sin tratamiento previo no puede ser utilizada prácticamente para ningún uso sin inconvenientes serios. Según el empleo a que se destine el agua tratada, deben llevarse a cabo distintas operaciones de tratamiento, de manera secuencial.

Desde el punto de vista técnico, es necesario considerar dos condiciones:

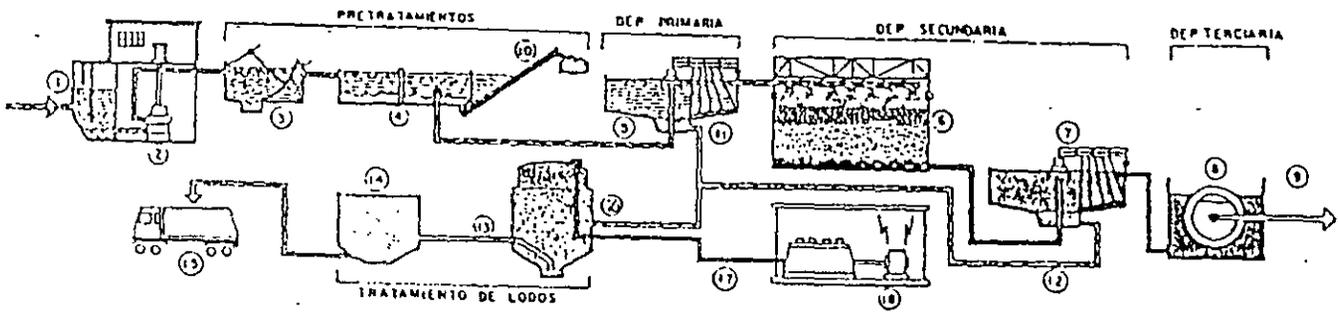
- La transformación en la calidad del agua mediante un proceso, o mediante la combinación de varios, siempre es limitada. A cada uno se asocia un grado o porcentaje de remoción de cada parámetro, que depende, a su vez, de la calidad del agua original, de la secuencia de los procesos de tratamiento, de las condiciones ambientales en que se desarrollan y del volumen del agua por tratar.
- La calidad de las aguas crudas, lo mismo que el caudal, varía no solamente con la ubicación geográfica de la población, sino con la época del año y la hora del día. La confiabilidad del tratamiento requiere estas variaciones.

En el tren de agua el conjunto de procesos de tratamiento se clasifica en los siguientes grupos:

- a) Tratamiento preliminar. Remoción del material grueso mediante su cribado o desmenuzado, así como de arenas, grasas o ambas.
- b) Tratamiento primario. Permite remover, mediante sedimentación, sólidos orgánicos e inorgánicos; comprende también la remoción de natas o grasas flotantes y la espumación, cuando es necesario.
- c) Tratamiento secundario. Se refiere al tratamiento biológico, en el cual la materia orgánica, al servir de alimento a una masa biológica, se convierte en materia removible por sedimentación secundaria. Se divide convencionalmente en procesos de medio fijo y procesos de medio suspendido.
- d) Tratamiento avanzado o terciario. Corresponde al conjunto de procesos físicos y químicos para remover contaminantes remanentes en un agua tratada a nivel secundario, o bien, aumentar la eficiencia en la remoción de uno o varios parámetros en los niveles primario y secundario.
- e) Desinfección y Control viral. Se aplican al agua tratada a cualquier nivel, para reducir la población de bacterias patógenas y virus.



Alternativas de operaciones unitarias para tratamiento de aguas residuales

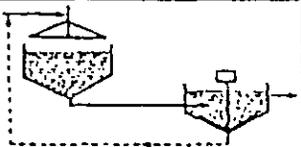
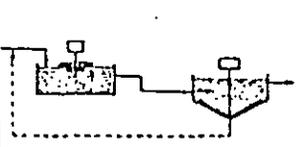
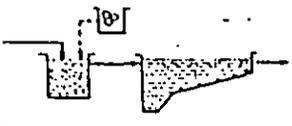


- 1 • ENTRADA DE AGUAS RESIDUALES
- 2 • DEPOSITO E INSTALACION DE BOMBEO
- 3 • DESBASTE POR REJILLAS
- 4 • DESARENADO Y DESENGRASADO
- 5 • DECANIACION PRIMARIA
- 6 • REACTOR BIOLOGICO DE LECHO BACTERIANO
- 7 • DECANIACION SECUNDARIA
- 8 • TAMIZADO FINAL
- 9 • VERTIDO AL RIO DE LAS AGUAS DEPURADAS
- 10 • ELIMINACION DE ARENAS Y GRASAS
- 11 • RETIRADA DE LODOS PRIMARIOS
- 12 • RETIRADA DE LODOS SECUNDARIOS
- 13 • DIGESTION PRIMARIA DE LODOS
- 14 • DIGESTION SECUNDARIA Y ESPESADO DE LODOS
- 15 • EVACUACION DE LODOS, PREFERENTEMENTE PARA FINES AGRICOLAS
- 16 • PRODUCCION DE GAS EN EL DIGESTOR PRIMARIO
- 17 • SALIDA DE GAS DE DIGESTION
- 18 • PRODUCCION DE ENERGIA CON EL GAS DE DIGESTION

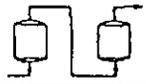
Esquema de una depuradora convencional

Depuración Primaria o física

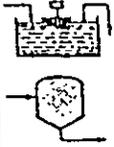
PROCESO UNITARIO					
REJAS GRESAS					
REJAS FINAS TAMICES					
DESARENADO					
DECANIACION					
FLOTACION					
PARTICULA TIPICA ELIMINADA	CUERPOS FLOTANTES	PARTICULAS DISCRETAS	SOLIDOS SEDIMENTABLES INORGANICOS	SOLIDOS SEDIMENTABLES ORGANICOS	SOLIDOS FLOTANTES ORGANICOS

PROCESOS UNITARIOS	DE NATURALEZA BIOLÓGICA	DE NATURALEZA FÍSICO-QUÍMICA
LECHOS BACTERIANOS a) Reactor biológico b) Separación física		
FANGOS ACTIVADOS a) Reactor biológico b) Separación física		
FLOCULACION-DECANTACION a) Coagulación-floculación b) Separación física		
PARTÍCULA TÍPICA ELIMINADA	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Depuración Terciana
Como complemento de la depuración secundaria.

PROCESOS UNITARIOS				
AIREACION				
ABSORCION POR CARBON				
FILTRACION				
CAMBIO IONICO				
SEPARACION POR MEMBRANA				
DESINFECCION				
PARTÍCULA TÍPICA ELIMINADA	GASES DISUELTOS	MATERIA ORGÁNICA DISUELTA	MATERIA MINERAL DISUELTA (IONES)	MICROORGANISMOS BACTERIAS Y VIRUS

Procesos unitarios empleados en el tratamiento de lodos

	Mejora y homogenización	Concentración de materia sólida	Eliminación del agua (parcial)	Reducción biológica de materia orgánica	Destrucción de la materia orgánica	Reducción de patógenos-virus
Acondicionamiento						
Espesamiento						
Deshidratación						
Digestión a) Aeróbica b) Anaeróbica						
Incineración						
Desinfección						

PROCESO DE TRATAMIENTO	DESCRIPCION
TRATAMIENTO PRELIMINAR Y TRATAMIENTO PRIMARIO	El tratamiento preliminar incluye remoción del material grueso por medio de rejillas, desmenuzando del material removido para su reintegración al agua por tratar y remoción de arenas, gravas y otros sólidos pesados inertes. El tratamiento primario abarca la sedimentación primaria, con aditivos coagulantes o sin ellos, y la remoción de sólidos flocantes y grasas; ocasionalmente se aplica cloro en esta fase.
<ul style="list-style-type: none"> • ESPUMACION 	Se basa en la formación de espumas mediante inyección de aire y recolección superficial, con objeto de remover parcialmente la concentración de detergentes refractarios.
TRATAMIENTO SECUNDARIO	
<ul style="list-style-type: none"> • LAGUNAS DE ESTABILIZACION 	En ellas se produce la oxidación biológica de las aguas residuales mediante procesos aerobios, caso en el cual se denominan de <u>oxidación o aerobias</u> , aerobios y anaerobios, en las lagunas <u>facultativas</u> , o totalmente anaerobios. Básicamente, la oxigenación es generada por procesos fotosintéticos de algas microscópicas bajo la acción solar; este proceso es sensible a la temperatura, la relación precipitación- evaporación, la insolación y la velocidad del viento. En su diseño debe cuidarse que el tiempo de retención, de unos 30 días, no se vea perjudicado por la ocurrencia de corto circuitos del flujo. Normalmente tiene tirantes de 1 a 1.5 metros.
<ul style="list-style-type: none"> • LODOS ACTIVADOS 	Se basa en la formación de un sistema biológico, en el cual los sólidos orgánicos contenidos en las aguas residuales sirven de alimento a una masa microbiana en un medio suspendido y provisto de oxigenación adecuada; se complementa con sedimentación secundaria, para la remoción de los sólidos biológicos y la recirculación de una parte de los mismos. Tiene distintas variaciones, como las siguientes: <u>Flujo de pistón</u> . El suministro de aire a lo largo del reactor es variable. <u>Mezcla completa</u> . Las concentraciones de alimento, microorganismos y aire son uniformes en el reactor de aeración. <u>Aeración por pasos</u> . El influente y el aire son introducidos al reactor en distintos puntos del proceso. <u>Oxigenación con oxígeno puro</u> . Permite el ingreso de mayores cargas o la disminución del tiempo de retención. <u>Aeración extendida</u> . Se diseña con mayores tiempos de retención hidráulicos, y opera con altas concentraciones de sólidos en una mezcla completa, produciendo un efluente nitrificado y lodos más estables. <u>Zanjas de oxidación</u> . Representan una variación del sistema de aeración extendida, con agitación mecánica y oxigenación por difusión. Los sistemas de aeración extendida resisten mayores fluctuaciones en la carga orgánica o hidráulica, son de fácil operación y producen lodos mineralizados, aunque pueden tener alto consumo de energía. En todos los procesos de lodos activados, la sedimentación eficiente es esencial para un desempeño adecuado del sistema.
<ul style="list-style-type: none"> • FILTROS PERCOLADORES O ROCIADORES 	Es un sistema biológico de medio fijo, en el cual el agua residual se hace percolar a través de un lecho de piedras o elementos plásticos, en la superficie de los cuales se forma una película bacteriana que aprovecha la materia orgánica del influente, se acompaña de un sedimentador secundario, del que puede hacerse recircular parte del gasto al filtro. El sistema es fácil de operar, es posible atenuar, mediante la recirculación, los choques de carga orgánica influente.
<ul style="list-style-type: none"> • DISCOS BIOLÓGICOS 	Es el segundo sistema usual de medio fijo, en este, un sistema rotatorio de discos, construidos en material plástico, se encuentra sumergido parcialmente en las aguas residuales, formando una película biológica en su superficie. En este sistema no hay recirculación.

PROCESO DE TRATAMIENTO	DESCRIPCION
TRATAMIENTO TERCARIO	
<ul style="list-style-type: none"> • COAGULACION-SEDIMENTACION 	<p>Consiste en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - adición de coagulantes químicos a las aguas residuales para remoción de contaminantes mediante precipitación. - mezclado rápido de los productos químicos con el agua, - mezclado lento para permitir la formación de floculos, y sedimentación sin ninguna mezcla para separar los floculos formados. <p>Se emplean como coagulantes cal, sales de aluminio, sales de fierro y polimeros. Es un proceso complicado en su operación y mantenimiento, y depende más del control adecuado del proceso químico que de la calidad del influente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • FILTRACION 	<p>El efluente de otro proceso se hace percolar a través de un medio filtrante granular, por gravedad o por bombeo, hasta que éste se obstruye y es necesario efectuar un retrolavado. Los medios filtrantes se componen de dos o más lechos distintos; se utilizan para el efecto arena, antracita, carbón activado y resina. Se requiere de un monitoreo cuidadoso de la calidad del efluente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • RECARBONATACION 	<p>Consiste en añadir CO₂ al agua tratada previamente con cal, con objeto de reducir su pH y evitar posterior sedimentación de depósitos de calcio. Puede llevarse a cabo también añadiendo un ácido débil, aunque así no se logra la remoción del calcio del efluente. Su operación no es complicada</p>
<ul style="list-style-type: none"> • ADSORCION CON CARBON ACTIVADO 	<p>El agua percola en un medio de carbón activado, en el que la materia orgánica soluble es absorbida en los poros de las partículas de carbón hasta que éste pierde su capacidad de adsorción; requiere de regeneración o sustitución periódica, no de retrolavado</p>
<ul style="list-style-type: none"> • NITRIFICACION 	<p>Consiste en oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitratos, mediante el empleo de procesos de tratamiento biológico en reactores mezclados, con tiempos de retención y manejo de concentraciones de sólidos adecuados, o mediante procesos de dos pasos, para remoción de materia carbonácea y de nitrógeno, respectivamente. Requieren, además, de mayor control de la calidad del agua influente.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • DENITRIFICACION 	<p>Es un proceso en el que el nitrógeno de nitratos es reducido a gas nitrógeno, evitando la oxigenación de la mezcla o, incluso, inyectándole metanol como fuente complementaria de carbón.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • CLORACION A PUNTO DE QUIEBRE 	<p>Consiste en la dosificación de cloro para oxidar la materia orgánica nitrogenada hasta lograr mantener cloro residual libre. Se aplica como complemento a otros sistemas de remoción de contaminantes orgánicos y nutrientes.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • OSMOSIS INVERSA 	<p>Consiste en la inversión del proceso de osmosis mediante la aplicación de presión en el lado de mayor concentración de sales; puede presentarse taponamiento de la membrana, por lo que se utiliza para efluentes con alto grado de tratamiento previo.</p>
DESINFECCION	
<ul style="list-style-type: none"> • CLORACION 	<p>Se utiliza cloro como oxidante para desinfectar las aguas residuales tratadas, monitoreando el cloro residual para controlar la dosificación. Su eficiencia depende de diversos factores. En ocasiones es necesario decolorar los efluentes, mezclándolos con dióxido de azufre</p>
<ul style="list-style-type: none"> • OZONACION 	<p>Se utiliza ozono como oxidante para remover virus, bacterias y otros organismos patógenos, así como olor, color y sabor del agua tratada, presenta eficiencia y confiabilidad altas, aunque no tiene capacidad residual para protección de los efluentes</p>

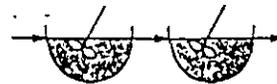
REMOCION O DESTRUCCION DE BACTERIAS Y PROTOZOARIOS POR DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO

PROCESO	REMOCION, EN %	
	BACTERIAS	HUEV. PROT
• REJILLAS GRUESAS	0-5	=====
• CRIBAS FINAS	10-20	=====
• CAMARAS DESARENADORAS	10-25	=====
• SEDIMENTADORES	25-75	30-70
• PRECIPITACION QUIMICA	40-80	=====
• FILTROS ROCIADORES	90-95	=====
• LODOS ACTIVADOS	90-98	90-99
• CLORACION DE EFLUENTES	98-99	99-100

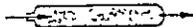
Principales tipos de reactores utilizados en el tratamiento de las aguas residuales



• Batch



Completamente mezclado en serie



• Piston



Completamente mezclado



Lecho empacado



Flujo disperso



Lecho Fluidizado

PLANTAS DE TRATAMIENTO INTERMEDIAS, AGUA PARA REUSO

Enseguida se mencionan algunas de las particularidades del diseño de plantas de tratamiento para reúso.

En general, los proyectos de tratamiento de aguas residuales siguen los mismos criterios indicados en el punto anterior, aunque existen algunas diferencias importantes

- a) **Ubicación.** Las plantas de tratamiento para reúso se ubican en los sitios más adecuados en relación con las zonas de generación de aguas residuales y las zonas en que se encuentran los usuarios potenciales. Por otra parte, tomando en cuenta que estas plantas se encuentran en la mayoría de los casos dentro de áreas urbanas, es importante considerar el impacto ambiental que pueden provocar, dependiendo del sistema que apliquen.
- b) **Sistema de Tratamiento.** El sistema seleccionado en una planta para reúso depende primordialmente del costo mínimo para lograr la calidad más conveniente, de manera que se satisfaga la que requiera el mayor número de usuarios a costo competitivo contra el agua potable. En los demás aspectos, los criterios aplicados son semejantes a los de las plantas terminales.
- c) **Capacidad, modulación y crecimiento.** La capacidad de una planta para reúso se define a partir de la generación aprovechable de agua residual y de la demanda de agua renovada. En su modulación influye también la necesidad de contar con la mayor confiabilidad posible en la calidad y el gasto del efluente, aquí la capacidad se puede determinar con mayor exactitud.

EFICIENCIA DE REMOCION DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES

SISTEMA DE TRATAMIENTO	PARAMETROS O CONTAMINANTES																			
	DB5	DBO	COLI	SAAM	NO ₃ NO ₂	N (NH ₂)	PO ₄ TOT	COND	ALC	GRVA C	OZA TOT	pH	COL	SOL SED	SDF	SDV	SSF	SSV	TURB	CLS
CRIBADO Y DESARENACION	0-5													0-20						
REMOCION DE GRASAS	0-5									15-50										
SEDIMENTACION PRIMARIA											10-20	50-60					80	40	30-40	
FLUJACION				60-90																
Lodos Activados (CONVENCIONAL)	75-90	50-75	75-90	50-75		50-75	25-50	60-90	25-50	50-75			50-60			0-5	60	60	80-90	
FLUJACION EXTENDIDA	90-75	50-75	75-90	50-75	+	75-90	25-50	90-95	25-50	50-75			50-60				90	60	80-90	
INTENSIFICACION	50-75	50-75	75-90		+	75-90	50-60	50-60											80-90	
MEMBRANAS	0-25	0-25				75-95	25-50	50-60	35-45											
ULTROS PERFORADORES O FUENTADORES	50-75	50-75						60-70												
Lodos Biologicos	90-95							80-95												
COAGULACION-SEDIMENTACION	50-75	50-95	75-90	25-50			70-95	65-90	VAR	25-50	20'									
FILTRACION DESPUES DE Lodos Activados	25-50	25-50				50-75	25-50	50-60	70-80	80-85										
RECARBONATACION											30'	VAR								
ADSORCION CON CARBON ACTIVADO	50-75	25-50	0-25	50-75	0-25	25-50	80-90	60-70	+	25-50					10		95	95	70-75	10
SEPARACION DE AVANZADO						50-90						VAR								
INTERCAMBIO IONICO	25-50	25-50				75-90		60-70						95						90-95
CLORACION A PUNTO DE QUIEBRE			50-80	50-75		75-90														
OSMOSIS INVERSA	75-90	75-90	75-90	50-75			99				70'			90	90					80
DESINFECCION CON CLORO			95-99																	
OZONACION			95-99	6-25						25-50				10						

CRIBADO O DESBASTE

La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el cribado o desbaste. El propósito es remover sólidos gruesos como papel, trapos, madera, plásticos y otros, ya que si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo y el de concentración de lodos, atorarse sobre los aeradores mecánicos, bloquear tuberías, boquillas, creando serios problemas de operación y mantenimiento.

Es importante hacer notar que el tipo de material y las cantidades que se separan en las rejillas varían con las horas del día y, sobre todo, cuando hay precipitaciones pluviales. En este último caso, el agua de lluvia arrastra material que no fue arrastrado bajo otras condiciones. Otro efecto del arrastre por agua de lluvia es la formación de aglomeraciones de fibras y pelo que puede afectar negativamente la operación de bombas y otros dispositivos de medición. Estas formaciones pueden ser separadas eficientemente en rejillas.

TABLA 7.1 TIPOS DE DISPOSITIVOS PARA CRIBADO

TIPOS	ABERTURA (cm)	PROPOSITO
• REJAS PARA BASURA	5-10	Protege las bombas y equipo de los objetos grandes (troncos, trapos, botes, etc.)
• REJILLAS	1.5-5	Parecidas a las rejas con aberturas más pequeñas para separar materiales más pequeños
• TAMICES	0.22-0.32	Protegen las boquillas de los filtros percoladores
• DESMENUZADORES	0.75-2	Reducir el tamaño de los materiales mediante trituración o corte, sin removerlos de las aguas residuales

REJILLAS

Las rejillas (cribas gruesas) se fabrican con barras de acero u otro material de alta resistencia, las cuales van soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal; son comúnmente utilizadas en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de tamaño medio y grande y su limpieza puede ser manual o mecánica. Las rejillas de limpieza manual tienen ángulos de inclinación típicos respecto a la horizontal de 45 a 60 grados. En rejillas mecánicas esta inclinación es de 45 a 90 grados con valores típicos de 60°.

Rejillas de limpieza manual

Las rejillas de limpieza manual en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se localizan generalmente antes de los sistemas de bombeo para su protección. La tendencia en los últimos años ha sido instalar rejillas de limpieza mecánica o trituradores, no sólo para reducir a un mínimo el trabajo manual de limpiar las rejillas, sino también para disminuir los reboses y desbordamientos que se producen por el atascamiento de las mismas.

Rejillas de limpieza mecánica

Para realizar el proyecto de este tipo de dispositivos, se determina por anticipado el tipo de equipo a utilizar, las dimensiones del canal de la rejilla, el intervalo de variación de la profundidad del flujo en el canal, la separación entre barras y el método de control de la rejilla. Este tipo de rejilla según la empresa fabricante pueden limpiarse, por la cara anterior (frontal) o la posterior. Cada tipo tiene sus ventajas y desventajas. En la figura 7.2 se muestra una rejilla mecánica de limpieza frontal.

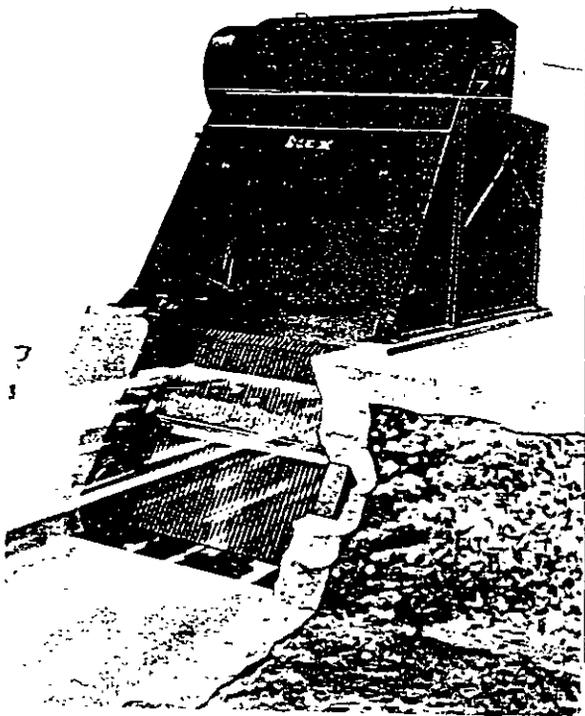
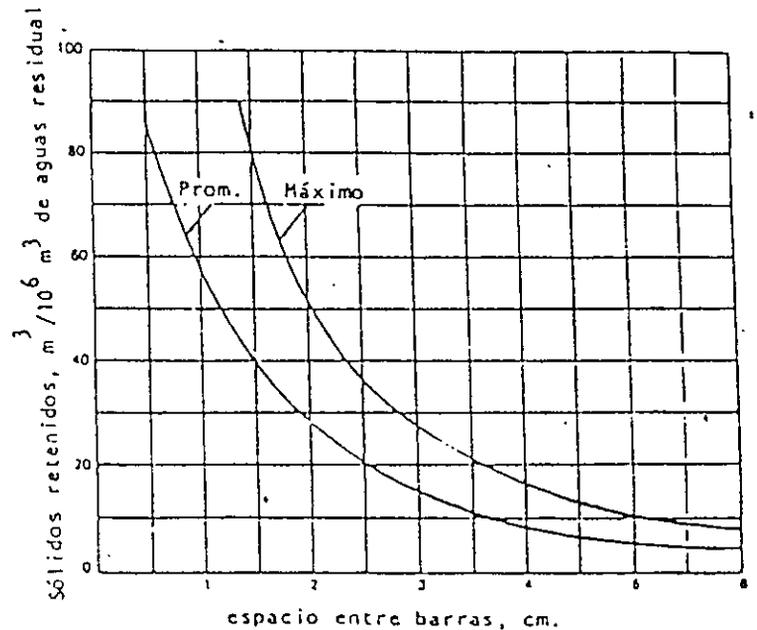


Figura 9.2 Tamiz de barras con mecanismo para limpiar automáticamente. (Cortesía de Envirex, de la Rexnord Company.)

CANTIDADES DE SÓLIDOS RETENIDOS POR REJILLAS DE LIMPIEZA MECÁNICA



Tamices.

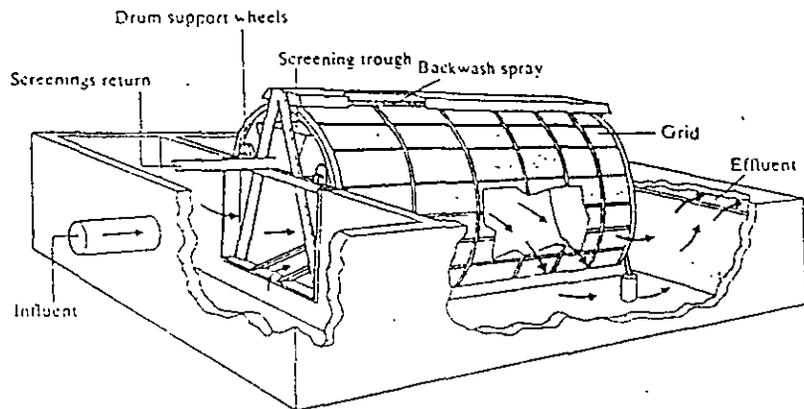
Existe un tipo de rejillas con aberturas de 22-32 mm (malla 6-60), son conocidas como cribas o tamices. Estos forman parte de equipos patentados consistentes en placas de metal perforadas, como discos, tambores rotatorios o placas metálicas encadenadas en bandas sin fin.

Estas cribas pueden utilizarse en lugar de una sedimentación en lugares donde no haya suficiente espacio para un tanque de sedimentación, y en lugares donde se desee remover sólo una pequeña cantidad de la materia suspendida para la disposición final del efluente.

Los tamices modernos son de tipo tambor o disco, provistos de una tela de malla fina de acero inoxidable o de un material poroso. Se encuentran en el mercado en dimensiones entre 1.2-5.4 m de diámetro.

En algunas plantas de tratamiento de agua municipal, se han utilizado este tipo de tamices, colocados para la protección de las boquillas de los filtros percoladores.

También se han utilizado en plantas industriales para el tamizado de las aguas residuales de fábricas de envasado, conservas, curtidos, papelería, textiles, etc.



TAMIZ TIPO TAMBOR.

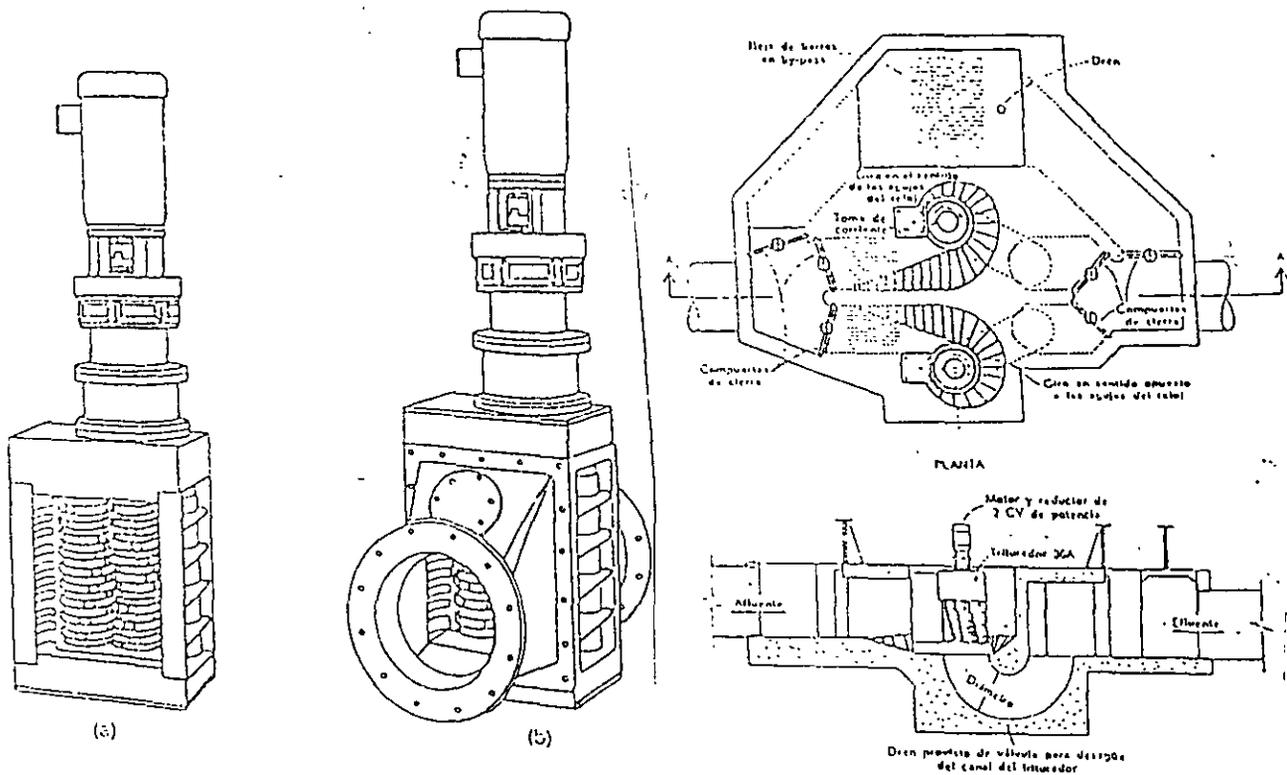
Trituración o desmenuzado

Los desmenuzadores son dispositivos que fragmentan o trituran el material retenido en las rejillas, sin eliminarlo del agua residual.

En algunos casos, el material grueso que se encuentra en las aguas residuales, no puede ser descargado directamente al drenaje, teniendo que ser tratado previamente con trituradores.

Es conveniente usar los trituradores a continuación de un desarenador, para alargar la vida útil del equipo y reducir el desgaste de las superficies cortantes y de aquellas zonas de los mecanismos donde haya espacios libres entre las partes móviles y las fijas. Estos equipos son generalmente instalados en los depósitos de regulación de las estaciones de bombeo, para proteger las bombas de las obstrucciones causadas por los trapos, objetos grandes etc.

En su instalación es importante colocar un by-pass para cuando se exceda el caudal o haya fallas mecánicas o eléctricas.



TRITURADORES PARA AGUAS RESIDUALES A) PARA CANAL, B) PARA TUBERÍA

DESARENADORES

- Se emplean para separar materiales más pesados que la materia orgánica putrescible (arena, grava, cenizas y otros). Protegen las bombas y otros equipos del desgaste debido a la abrasión, evitan que estos materiales se acumulen en los tanques evitando así obstrucciones y taponamientos.

Su forma es generalmente la de grandes canales, la velocidad de la corriente en ellos disminuye lo suficiente (0.3 m/seg) para que los sólidos orgánicos pesados se depositen, manteniéndose en suspensión los sólidos orgánicos ligeros e inorgánicos finos (menores de 0.2 mm). Es difícil separar únicamente las sustancias minerales, ya que muchos restos de comida tienen grandes diámetros y su velocidad de sedimentación es comparable con la de la arena. Esto hace que el material que se extrae del desarenador contenga partículas orgánicas que pueden causar malos olores si no se les proporciona el manejo adecuado.

Ubicación

Comúnmente se coloca el desarenador después de rejas para evitar que las partículas grandes interfieran en el proceso aguas abajo. La colocación de un canal de demasías es un concepto falso, ya que durante las precipitaciones pluviales se arrastra una mayor cantidad de arena. En este caso es cuando más se necesita el desarenador, por lo cual su diseño debe considerar el manejo eficiente del agua de lluvia.

Si se requiere un cárcamo de bombeo para elevar el agua, se recomienda que el desarenador se coloque antes del cárcamo y después de rejas. El equipo mecánico y electromecánico no sufre daños por arena, pero sí se desgasta más rápidamente. Se recomienda separar arena para protección de partes mecánicas.

Tipos de desarenadores

Para separación de sólidos se utilizan principalmente la fuerza de la gravedad (sedimentación) y la fuerza centrífuga (ciclones). En el tratamiento de aguas residuales en México se utilizan principalmente separadores por gravedad.

Se identifican cuatro tipos principales de desarenadores

- de flujo horizontal o velocidad controlada /
- desarenadores aerados |
- Tanques de sección cuadrada o tanques de detritus
- Tipo vortice |

En los desarenadores de tipo horizontal, el caudal pasa a través del tanque en dirección horizontal y la velocidad de flujo es controlada por las mismas dimensiones de la unidad o mediante el uso de vertedores de sección especial al final del tanque.

Los desarenadores aerados consisten en tanques sujetos a una aeración del tipo flujo en espiral donde la velocidad es controlada mediante sus dimensiones así como por la cantidad de aire suministrada a esa unidad.

Los desarenadores de sección cuadrada o tanques de detritus son simplemente tanques de sedimentación en los cuales la arena y los sólidos orgánicos sedimentan en forma conjunta; los sólidos orgánicos se separan posteriormente por medios mecánicos.

Los desarenadores tipo vórtice (ciclón), el agua entra y sale tangencialmente y las arenas sedimentan por gravedad debido a la inercia y a su densidad mayor que la del agua

PRECLORACIÓN Y PREAERACIÓN

A pesar de que el principal uso de la cloración en el tratamiento de las aguas residuales es con propósitos de desinfección, también se emplea con otros propósitos. La práctica de aplicar cloro en los primeros pasos de la planta se conoce como precloración y es usada principalmente para el control de olor, corrosión, septicidad y como ayuda en la remoción de grasa.

Control de olor. El olor que mas prevalece y mas ofensivo es el que resulta del sulfuro de hidrógeno (H_2S) que se produce por la descomposición de los compuestos de azufre. Esta comprobado que si el sulfuro de hidrógeno es controlado o destruido, los olores procedentes de otros procesos de putrefacción son controlados en forma similar. Sin embargo la destrucción de los sulfuros es seguido por la solubilización de metales pesados en las aguas residuales y puede causar problemas en las plantas que utilizan digestión anaerobia y en la sedimentación primaria.

La reacción de cloro gas con el agua es rápida.



Con un pH de 5 la cantidad de solución de ácido hipocloroso ($HOCl$) es aproximadamente el 100%. Si se le agrega sulfuro de hidrógeno tenemos:



Control de corrosión. El H_2S no solo produce olores desagradables, también puede causar una corrosión devastadora en las estructuras de concreto, el H_2S que se produce en las aguas residuales reacciona con el oxígeno en presencia de bacterias oxidantes y la atmósfera húmeda arriba de la superficie del liquido para producir ácido sulfúrico que se condensa en los muros del alcantarillado, muros mojados y otras estructuras. Este ácido es tan fuerte para destruir, inclusive, las mejores mezclas de concreto. Al remover el H_2S mediante la cloración, se controla la fuente primaria de olor y corrosión. El cloro puede ser utilizado en forma efectiva para prevenir la formación de hidrógeno de sulfuro al aplicarlo en los cárcamos húmedos al final del emisor, justo antes de las estaciones de bombeo. El punto de aplicación en un emisor es de por lo menos 10 diámetros aguas arriba del punto de descarga para lograr la mezcla y tiempo de reacción.

Prevención de septicidad. Todos los procesos en los tratamientos biológicos son mas eficientes cuando el influente de las aguas residuales son mas frescas o recientes. La eficiencia del tratamiento se puede afectar adversamente si las aguas residuales llegan sépticas. La precloración se puede usar para prevenir el proceso séptico manteniendo el influente en condiciones frescas. Generalmente la dosis de cloro utilizada para el control de olores también controlará la septicidad.

Remoción de grasa. Muchas plantas de tratamiento tienen problemas por las altas concentraciones de grasa en el influente. La precloración ha tenido varios grados de éxito para remover la grasa. El cloro puede aplicarse como una solución antes del tanque primario o después del sedimentador primario antes de los tanques de aeración. Con frecuencia una pequeña cantidad como 2 a 4 mg/lit es suficiente para traer un aumento en la remoción de grasa.

La cloración con aeración es mas efectivo para remover la grasa que únicamente con cloración. Para este método de tratamiento el gas cloro se mezcla con el aire que se agrega en los tanques de aeración. También se puede utilizar el equipo convencional de cloración.

PREAERACION

La aereación de las aguas residuales previo al sedimentador primario se ha practicado desde hace 50 años en los Estados Unidos, sin embargo su uso no se ha extendido, se ha limitado un poco a ciertos problemas en el tratamiento de las aguas residuales. Su uso inicialmente para el control de olores, y para prevenir la septicidad, como preaereación se ha extendido mas y cuando se utilizaron periodos mas largos de aereación, se obtuvieron beneficios adicionales. La preaereación se utiliza ahora para llevar a cabo uno o mas de los siguientes objetivos.

1. Control de olores
2. Separación de grasas y remoción de arenas
3. Prevención de septicidad
4. Separación de arenas
5. Floculación de sólidos
6. Mantener el oxígeno disuelto en los tanque de tratamiento primario en flujo lento
7. Incrementar la remoción de DBO y SS
8. Minimizar depósitos de sólidos en los muros y el piso de los cárcamos húmedos

SEDIMENTACION

La sedimentación es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. El proceso de sedimentación se basa en la diferencia de gravedad específica entre el material sedimentable y el agua, por consiguiente cualquier factor que afecte tal característica afectará la velocidad de sedimentación.

Cuando en un agua residual los sólidos se separan mediante la acción de la gravedad y la agregación natural de las partículas, la operación recibe el nombre de "sedimentación simple". Si se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar o favorecer la agregación y asentamiento de la materia finamente dividida y sustancias coloidales, la operación recibe el nombre de "coagulación". En el caso de agregar productos químicos para separar de la solución las impurezas disueltas, la operación se describe como "precipitación química".

De forma genérica se denominan sedimentadores a los dispositivos (tanques) utilizados para la separación de partículas que no son retenidos en rejillas (cribas) y desarenadores. Dichas partículas tienen generalmente densidades relativas cercanas a 1g/cm^3 y su velocidad de sedimentación es baja comparada con la arena. Para su separación se requieren tanques relativamente grandes, con volúmenes que proporcionen tiempos de retención hidráulica de hasta varias horas.

Los sedimentadores primarios se utilizan para remover sólidos sedimentables previamente a otros tratamientos. Cuando se combina con tratamientos químicos y floculación, las unidades de tratamiento primario pueden remover fosfatos solubles y otros sólidos disueltos e incrementar la remoción de sólidos suspendidos.

Los sedimentadores intermedios o finales se usan para remover sólidos sedimentables producidos en los procesos de tratamiento biológico. Los tanques sedimentadores también se usan para remover sólidos sedimentables que puedan resultar de un tratamiento terciario.

El primero en hacer postulado teórico de que el grado de separación de sólidos es independiente de la profundidad del tanque fue Hazen (1904) e hizo las siguientes consideraciones:

1. El sedimentador se divide en 4 zonas:
 - Zona de entrada;
 - Zona de sedimentación;
 - Zona de salida;
 - Zona de lodos.
2. La trayectoria de flujo es horizontal. La dirección y velocidad son iguales en la zona de sedimentación.
3. La concentración de sólidos es homogénea a todo lo ancho de la zona de entrada.
4. Todas las partículas suspendidas conservan su forma, tamaño y otras características durante el proceso de sedimentación. Lo anterior implica que no hay interferencias y que todas las partículas conservan su velocidad.
5. Se considera que una partícula ha sedimentado cuando toca el piso.

Como consecuencia de la reducción de sólidos suspendidos el tratamiento primario da origen a una reducción de la DBO asociada con los sólidos suspendidos que son retirados.

Tipos de sólidos en suspensión.

Entre los sólidos en suspensión en las aguas residuales, los hay granulares y grumosos. Los granulares sedimentan con velocidad uniforme e independiente unos de otros. Los grumosos, constituidos por partículas, que se unen unas a otras para sedimentar, forman floculos o grumos, que adquieren mayor velocidad de descenso.

La American Water Works Association ha deducido una tabla de valores hidráulicos de sedimentación,

Actuando sobre partículas de densidad mayor que uno
Decantación Natural Floculación Natural-Decantación Floculación Química-Decantación = Tratamiento Físico-Químico
Actuando sobre partículas de densidad menor que uno
Flotación Natural Flotación Aireada Flotación por Aire Disuelto (D.A.F.)

Velocidad de sedimentación y tiempo para diversas partículas.

Diámetros de partículas en mm	Orden de magnitud	Velocidad de sedimentación mm/seg	Tiempo necesario para decantar un metro
10	Gravilla	1,000	1 segundos
1	Arena gruesa	100	10 segundos
0,1	Arena fina	8	2 minutos
0,01	Cieno	0,147	2 horas
0,001	Tamaño de bacterias	0,00154	7,5 días
0,0001	Tamaño de partículas de arcilla	0,0000154	2 años
0,00001	Tamaño de partículas de coloides	0,000000154	206 años

FAIR ha deducido las velocidades de sedimentación de partículas de diversas densidades, en función de sus distintos diámetros y para una temperatura de 10° C. Se indica a continuación un resumen de los resultados obtenidos:

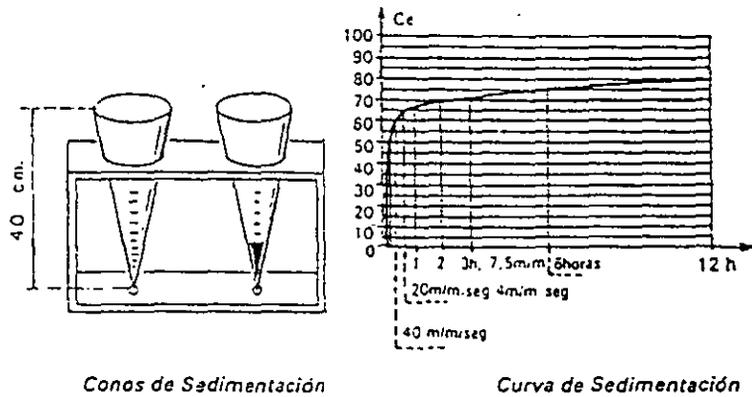
Sedimentación de partículas según FAIR

Diámetro (mm)	1,0	0,5	0,2	0,1	0,005	0,001	0,005
Arena de cuarzo (m/h)	502	258	82	24	6,1	0,3	0,06
Carbón (m/h)	152	76	26	7,6	1,5	0,08	0,015
Materias en suspensión en el agua residual doméstica (m/h)	122	61	18	3,0	0,76	0,03	0,006

Los pesos específicos, adoptados en el cálculo de los anteriores valores, son $2,65 \text{ Kg/dm}^3$ para la arena de cuarzo, 1,5 para el carbón y 1,2 para las materias en suspensión del agua residual urbana.

Materia sedimentable y eficacia de la sedimentación.

Se denomina materia sedimentable a aquella que se deposita en un cono de ensayo de 40 cm de altura al cabo de dos horas. Y eficacia de sedimentación al porcentaje sobre dicho fango sedimentable al cabo de cierto tiempo.



Conos de Sedimentación

Curva de Sedimentación

Las probetas cónicas son de un litro de capacidad y graduadas en centímetros cúbicos a partir de su parte inferior.

APLICACIONES

Potabilización del agua, tratamiento de aguas residuales, tratamiento avanzado de agua.

- Aplicaciones en potabilización del agua:
 - a) Sedimentación simple de aguas superficiales previa al tratamiento de clarificación.
 - b) Sedimentación de agua coagulada y floculada antes de la filtración rápida en lechos granulares.
 - c) Sedimentación de agua coagulada y floculada en el proceso de ablandamiento química del agua.
 - d) Sedimentación de precipitados de hierro y manganeso.
- Aplicaciones en tratamiento de aguas residuales:
 - a) Remoción de arenas, arcillas y limos.
 - b) Remoción de sólidos suspendidos en clarificadores primarios.
 - c) Remoción de flóculos biológicos en plantas de tratamiento mediante lodos activados.
 - d) Remoción de humus en plantas de tratamiento mediante procesos biológicos de contacto (filtros percoladores, biodiscos).
- Aplicaciones en tratamiento avanzado de agua:
 - a) Remoción de flóculos coagulados químicamente antes de la filtración.
 - b) Remoción de moléculas

Los principios básicos del proceso de sedimentación son los mismos para cualquier tipo de aplicación.

Los tanques se construyen comúnmente de concreto reforzado, sin embargo también los hay metálicos.

TIPOS DE SEDIMENTACIÓN

TIPO I Sedimentación libre de partículas discretas, no floculentas, en una suspensión diluida.

TIPO II Sedimentación de partículas floculantes en una suspensión diluida.

TIPO III Sedimentación de zona de partículas con concentración intermedia.

TIPO IV Sedimentación por compresión.

TIPO I.

Las partículas sedimentan como unidades separadas (partículas discretas) y aparentemente no hay interacción entre ellas, en general son sólidos en suspensión con una masa relativa mas grande y en suspensiones no muy concentradas. Se produce en los desarenadores y parcialmente en los sedimentadores primarios, así como en la precipitación química si no existe tratamiento primario.

Tipo II

Corresponde a la sedimentación de partículas floculentas en una suspensión diluida. Las partículas floculan durante la sedimentación, con lo que aumentan de tamaño y sedimentan a una velocidad mayor. La sedimentación primaria de aguas residuales y de aguas residuales coaguladas químicamente, son ejemplos de este tipo de sedimentación.

Tipos III y IV

La sedimentación tipo III o con interferencia comprende las partículas de concentración intermedia que se encuentran muy cercanas unas de otras lo que provoca que las fuerzas interpartículas interfieren la sedimentación de partículas vecinas. Las partículas permanece en una posición fija relativa una a otra y todas sedimentan con una velocidad constante. Como resultado, la masa de partículas sedimenta como una zona. En la parte superior de la masa que se asienta, se tiene una interfaz sólido-líquido entre las partículas y la zona clarificada (Ejemplo: clarificador final del proceso biológico de lodos activados).

La sedimentación tipo IV, o de compresión, corresponde a partículas que están a tan alta concentración que se tocan unas a otras y la sedimentación puede ocurrir solo por compresión de la masa (ejemplo: profundidades más bajas de un clarificador final del proceso biológico de lodos activados). Cuanto mayor sea la compresión, menor será el volumen de lodos que se obtenga.

PROCESOS Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO

TRATAMIENTO FISCOQUIMICO	<ul style="list-style-type: none"> • PRECIPITACION QUIMICA • COAGULACION QUIMICA • FLOCULACION
TRATAMIENTO BIOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> • SISTEMAS AEROBIOS <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MICROORGANISMOS EN SUSPENSION <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Lodos activados ❖ . Lagunas aereadas ❖ . Zanjas de oxidación <input type="checkbox"/> MICROORGANISMOS ADHERIDOS A UN MEDIO FIJO <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Filtros rociadores ❖ . Biodiscos <input type="checkbox"/> COMBINACION <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Medio granular fluidizado ❖ . Torres de madera resistente ❖ . Lodos activados con medio fijo • SISTEMAS ANAEROBIOS <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> MICROORGANISMOS EN SUSPENSION <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Tratamiento con contacto anaerobio ❖ . Lecho fluidizado <input type="checkbox"/> MICROORGANISMOS ADHERIDOS A UN MEDIO <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Filtro anaerobio <input type="checkbox"/> COMBINACION <ul style="list-style-type: none"> ❖ . Medio granular fluidizado
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	

El tratamiento secundario es el proceso complementario de la depuración de las aguas residuales, consistente en una serie de operaciones y procesos químicos o biológicos al que son sometidos los efluentes del tratamiento primario, ya que los efluentes de tal tratamiento, contienen aun sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloides y solubles, los cuales deben ser separados para obtener un agua apropiada para otro uso o para su disposición final en cuerpos receptores.

El tratamiento secundario agrupa los procesos y operaciones unitarias, capaces de eliminar los sólidos que aun contienen los efluentes primarios, los procesos utilizados en el tratamiento secundario se clasifican en fisicoquímicos y biológicos.

OPERACIONES, PROCESOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO USADOS PARA REMOVER
LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES PRESENTES EN UN AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

CONTAMINANTES	UNIDAD, PROCESO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	CLASIFICACION
• Sólidos suspendidos	<input type="checkbox"/> Cribado y desmenuzado	F
	<input type="checkbox"/> Sedimentación	F
	<input type="checkbox"/> Flotación	F
	<input type="checkbox"/> Filtración	F
	<input type="checkbox"/> Coagulación/sedimentación	Q/F
• Orgánicos biodegradables	<input type="checkbox"/> Lodos activados	B
	<input type="checkbox"/> Filtro percolador	B
	<input type="checkbox"/> Discos biológicos	B
	<input type="checkbox"/> Lagunas aireadas	B
	<input type="checkbox"/> Lagunas de oxidación	F/B
	<input type="checkbox"/> Filtración en arena	B/Q/F
<input type="checkbox"/> Físico/químico	F/Q	
• Patógenos	<input type="checkbox"/> Cloración	Q
	<input type="checkbox"/> Ozonación	Q
	<input type="checkbox"/> Radiación ultravioleta	F
• NUTRIENTES:		
• Nitrógeno	<input type="checkbox"/> Nitrificación y desnitrificación con biomasa suspendida	B
	<input type="checkbox"/> Nitrificación y desnitrificación con biomasa fija	B
	<input type="checkbox"/> Arrastre con amoníaco	Q/F
	<input type="checkbox"/> Intercambio iónico	Q
	<input type="checkbox"/> Cloración en el punto de quiebre	Q
• Fósforo	<input type="checkbox"/> Coagulación/sedimentación con sales metálicas	Q/F
	<input type="checkbox"/> Coagulación/sedimentación con cal	Q/F
	<input type="checkbox"/> Remoción bioquímica	B/Q
• Orgánicos refractarios	<input type="checkbox"/> Adsorción con carbón activado	F
	<input type="checkbox"/> Ozonación	Q
• Metales pesados	<input type="checkbox"/> Precipitación química	Q
	<input type="checkbox"/> Intercambio iónico	Q
• Sólidos inorgánicos disueltos	<input type="checkbox"/> Intercambio iónico	Q
	<input type="checkbox"/> Osmosis inversa	F
	<input type="checkbox"/> Electro diálisis	Q

Q = químicos, F = físicos y B = biológicos

TRATAMIENTOS FISICOS, QUIMICOS

Los procesos fisicoquímicos pueden servir para favorecer la sedimentación de la materia en suspensión, pero son especialmente útiles para eliminar la materia coloidal y los sólidos orgánicos disueltos, los cuales sin reactivos químicos jamás sedimentarían; estas sustancias son muchas veces responsables de la turbidez, color y DBO de las aguas residuales.

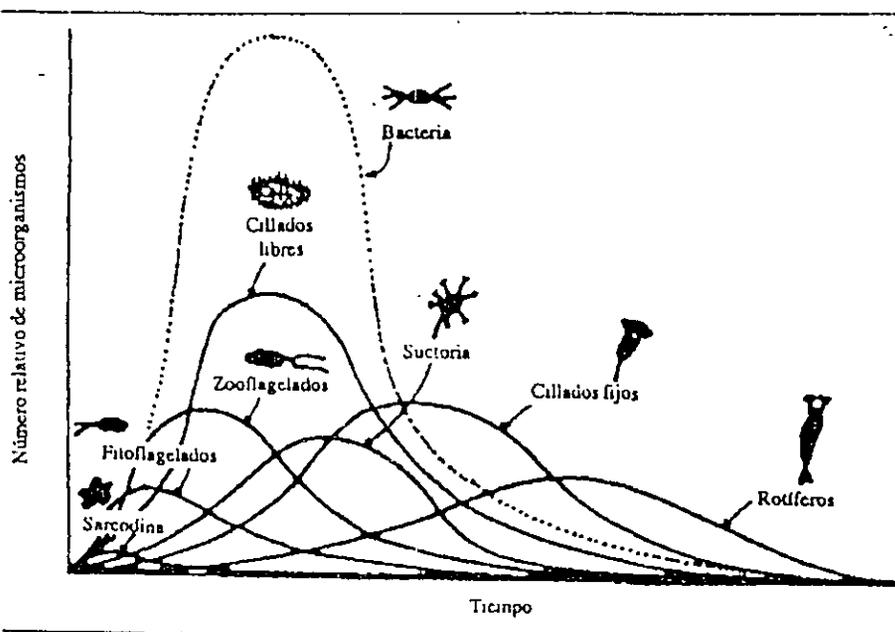
Los procesos físico químicos son en general más costosos que los procesos biológicos, sin embargo las limitaciones de los biológicos para tratar residuos tóxicos como metales y sustancias orgánicas sintéticas ha hecho que los procesos fisicoquímicos sean adaptados para cargas industriales de características agresivas a los procesos biológicos, a veces como un tratamiento previo al biológico y otras como un tratamiento único.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico de las aguas residuales, tiene como finalidad remover mediante la coagulación la materia orgánica en estado coloidal y disuelta, la cual no fue removida con el tratamiento primario y además estabilizar la materia orgánica.

En forma general, el tratamiento biológico se lleva a cabo por la transferencia de la materia orgánica hacia la película o flóculo también llamado "FLOC" (biomasa), por contacto interfacial, adsorción y absorciones asociadas. La materia orgánica es utilizada por los microorganismos para su metabolismo y generación de células nuevas, las células viejas mueren, deslavándose y precipitándose al fondo.

En los sistemas biológicos, se tienen complejas poblaciones de microorganismos mezclados e interrelacionados, en los que cada uno de ellos tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de las condiciones del sistema, pH, temperatura, aereación o anaerobiosis y disposición de nutrientes. En la figura 9.2 se ilustra la variación con respecto al tiempo de algunos microorganismos predominantes en un agua residual en un sistema de tratamiento biológico.



Curvas de crecimiento de microorganismos en un agua residual con tratamiento biológico

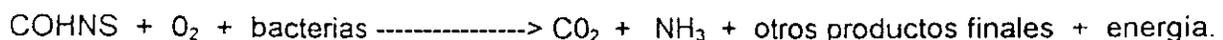
La eficiencia de los procesos biológicos depende de las características de las aguas residuales, condiciones ambientales del sistema y tipo de microorganismos.

Es importante conocer si el agua residual a tratar por medios biológicos contiene compuestos químicos tóxicos que puedan ser inhibitorios para el crecimiento de los microorganismos, en tal caso se podría hacer un pretratamiento para su eliminación o mejor cambiar a un tratamiento fisicoquímico.

En condiciones aerobias, los microorganismos utilizan el oxígeno en sus procesos vitales (metabolismo y reproducción), en cambio en ausencia de oxígeno (anaerobiosis) se usan otros compuestos químicos en sustitución del oxígeno como aceptores de electrones.

Para un proceso aerobio y considerando a las bacterias como la población dominante, los tres procesos anteriores pueden representarse de la siguiente manera:

Oxidación:



Síntesis:

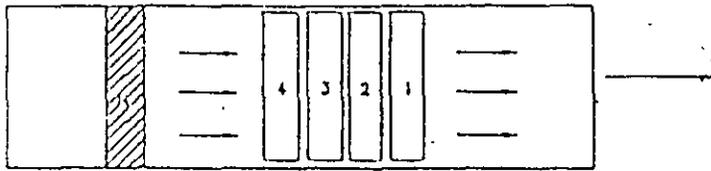


Respiración endógena:

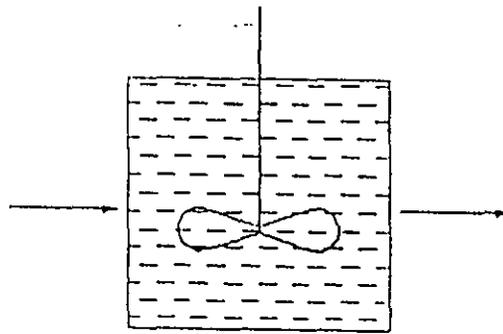


En los procesos de tratamiento con microorganismos en suspensión, la agitación permite un mejor y mas continuo contacto entre los organismos encargados de la estabilización y la materia por estabilizar, permitiendo un proceso más rápido y más eficiente. Si para incrementar la eficiencia, y para ayudar a la hidrólisis de compuestos complejos el sistema se trata de mantener bajo condiciones aerobias, la agitación, aparte de promover el contacto comida-microorganismo, permite la transferencia de oxígeno para ser utilizado en el proceso metabólico. En caso contrario, la agitación solo promueve la oportunidad de contacto entre microorganismos y comida, y se ha observado que ayuda a los procesos de hidrólisis.

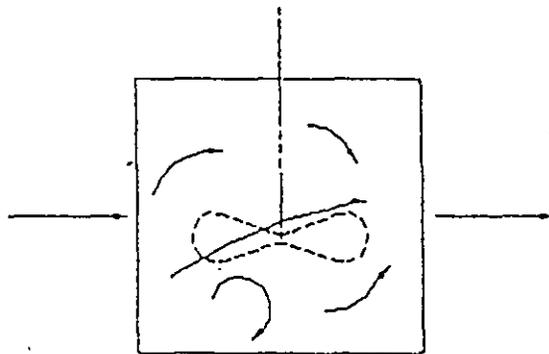
El proceso de microorganismos en suspensión, tiene muchas variantes: 1.- Proceso convencional, 2.- Completamente mezclado, 3 - Aereación por etapas, 4.- Estabilización por contacto, 5.- Aereación extendida, 6.- Zanjas de oxidación, 7.- Aereación de acuerdo con demanda, 8.- Oxígeno puro, 9.- Carrousel, 10 - Kraus



Representación Esquemática del Flujo Pistón.



Representación Esquemática de Mezcla Completa



Representación Esquemática del Flujo Disperso.

Sistemas de aireación

Los métodos disponibles para la aireación en los procesos de los lodos activados se pueden clasificar, en términos generales, como sistemas de aireación por burbujas o de "difusor", sistemas de aireación mecánica y sistemas combinados que usan tanto la aspersión por aire como la agitación mecánica.

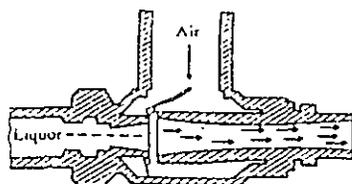
El requisito principal que debe cumplir un sistema de aireación es que debe ser capaz de transferir oxígeno al licor mezclado a una tasa equivalente al pico de requerimiento de oxígeno, expresada como la masa de oxígeno transferida por unidad de volumen por unidad de tiempo ($\text{kgO}_2/\text{m}^3/\text{por unidad de tiempo}$). El nivel superior de la tasa de transferencia de oxígeno para los dispositivos convencionales de aireación, ha sido citado como de 60 a 70 g/m^3 por hora, a pesar de que los sistemas pueden proporcionar valores más altos a riesgo de producir un exceso de pulverización del líquido, y de 100 $\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$ para aereadores convencionales en gran escala, lo que puede limitar la máxima tasa del tratamiento.

Usualmente, la medida de la eficiencia del sistema de aireación se expresa como la masa de oxígeno transferida por unidad de energía consumida (kgO_2/kWh o kJ). Este parámetro se conoce como "eficiencia de oxigenación" a pesar de que no carece de dimensiones. En algunos sistemas de aireación, sólo una parte del oxígeno transmitido se disuelve realmente, este efecto está indicado por la "eficiencia de utilización del oxígeno". La disolución del oxígeno no es la sola función del sistema de aireación, ya que también suministra la agitación necesaria para mantener en suspensión los flocúlos de lodo y mantener homogéneo el licor mezclado. Si la agitación es insuficiente para mantener en suspensión a los flocúlos de lodos en todo el líquido, el contacto reducido entre microorganismos y nutrientes retardará la tasa de remoción de estos últimos, algunos organismos pueden estar privados de nutrientes y, en el peor de los casos, los lodos podrán asentarse en el fondo del tanque de aireación y formar una capa anaeróbica putrefacta de limo. De manera similar, se requiere un mezclado adecuado para asegurarse de que algunas regiones del tanque no se vean privadas de oxígeno disuelto y se vuelvan anóxicas, a menos que se establezca previamente esta condición.

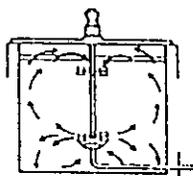
Sistemas de aireación por burbujas.

En los sistemas de aireación por burbujas, la transferencia de oxígeno se efectúa de tres maneras por la acción de burbujas que se forman dentro de la mezcla de licor: aire comprimido inyectado a través de toberas o perforaciones llamadas "aspersores" o a través de medios porosos llamados "difusores", o por disolución de aire a presión en una parte del líquido, el que luego se libera dentro del cuerpo principal del licor mezclado para que haga efervescencia. Esta última se conoce como la técnica del "aire disuelto" y se usa con mayor frecuencia para producir espuma y separar sólidos por flotación, que para la transferencia de masa. La aspersión produce las burbujas más gruesas, y el aire disuelto las más finas, pero la terminología para el tamaño de las burbujas producidas por un sistema resulta inexacta. Con términos muy apropiados se puede decir que las burbujas "finas" tienen un diámetro menor de aproximadamente 1 1/2 a 2 mm, y las burbujas "gruesas" son mayores de 3 a 5 mm. Las burbujas "medias" se encuentran entre estos dos intervalos y se usa también el término "micro", aparentemente con el mismo significado que "finas".

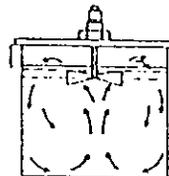
La eficiencia del uso de oxígeno obtenida con sistemas de aireación con burbujas es usualmente baja, aproximadamente del 1% para difusores de burbujas finas y de 5 a 6% para sistemas de burbujas gruesas, a pesar de que se informa de eficiencias tan altas como el 20%. Esto quiere decir que casi el 90% del gas que pasa por el licor contribuye muy poco a la transferencia de oxígeno y sólo ejerce una función mezcladora. Sin embargo es preciso filtrar el gas, comprimirlo y enviarlo por tuberías a los tanques de oxigenación, con el consiguiente desperdicio de energía. La eficiencia de uso es mayor al disminuir el tamaño de las burbujas y aumentar la profundidad del líquido a través del que se elevan las burbujas; sin embargo, ambos efectos aumentan los costos de compresión. Los difusores que producen burbujas finas tienen mayor resistencia al flujo de gas que los equipos de burbujas gruesas, el uso de mayores profundidades del líquido representa un aumento de la presión hidrostática que se ha de superar utilizando presiones más altas en la descarga del soplador. Con profundidades del líquido menores de 3 m, el tiempo de residencia de las burbujas es más corto requiriendo elevar la tasa de flujo con la desventaja de producir altos costos de compresión.



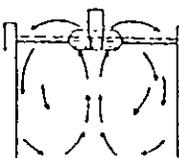
Jet diffuser



Turbine aeration system



Radial flow



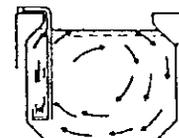
Axial flow



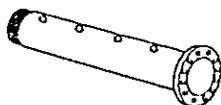
Porous dome (fine bubble)



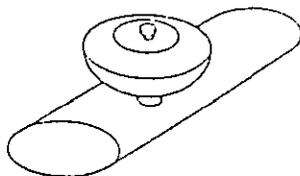
Static aeration



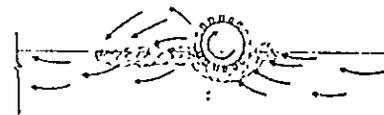
Bubble aeration



Diffuser tube (medium and fine bubble)



Bubble cap (coarse bubble)



Brush mechanical aerator

Equipos aereadores

LODOS ACTIVADOS

Proceso convencional

Los procesos de lodos activados se utilizan tanto para tratamiento secundario como tratamiento completo de las aguas residuales sin sedimentación primaria. En estos procesos los desechos líquidos son alimentados continuamente a un tanque aereador (reactor) en el que se encuentra el cultivo de los microorganismos (lodos activados), en su mayoría bacterias en suspensión, las cuales en su conjunto se les conoce como "licor mezclado" los que metabolizan y flocculan biológicamente los compuestos orgánicos. El medio ambiente aerobio, así como la mezcla del sustrato (agua residual influente) y microorganismos (sólidos suspendidos volátiles SSV) se mantiene mediante el uso de aereación mecánica o inyección de aire mediante sopladores. Después de un determinado tiempo de retención el "licor mezclado" pasa a un tanque de sedimentación, donde se lleva a cabo la separación de microorganismos en forma de flóculos (flocs) del agua, la cual sale por la parte superior del tanque, terminando aquí el proceso de tratamiento del "tren de agua". Una parte de la biomasa sedimentada es retornada al tanque de aereación para mantener una concentración deseada de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLM) y la otra es retirada del sistema como lodo de desecho.

Los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, constan de equipo que pone en contacto la materia orgánica con los microorganismos adecuados, durante el tiempo suficiente para llevar a cabo su oxidación, bajo condiciones aerobias o anaerobias.

Eficiencias de remoción de contaminantes de varios sistemas de tratamiento biológicos en condiciones ideales de operación

PARAMETRO	INFLUENTE	EFLUENTE						
		Lodos activados C.M.	Aireación extendida	Lag aereadas c/sed. sec.	Zanjas de oxidación c sed. sec.	Lag. Fac sin aireación	Lag. Fac con aireación	Lag. anaerobias
SST	225	20	20	20	20	120	90	100
DBO5	220	15	15	15	15	40	25	40
DQO	450	90	90	90	90	160	140	140
N-NH3	25	20	2	2	2	1	1	1
P = To+	10	7	7	7	7	4	4	4

TABLA 9.4 Clasificación general de los microorganismos con base en sus fuentes de carbón y energía

CLASIFICACION	FUENTE DE ENERGIA	FUENTE DE CARBON	ORGANISMOS REPRESENTATIVOS
FOTOAUTOTROFOS	LUZ	CO ₂	Algas, bacterias, fotosintéticas, plantas superiores
FOTOHETEROTROFOS	LUZ	Materia orgánica	Bacterias fotosintéticas
QUIMIOAUTOTROFOS	Materia inorgánica (oxidación-reducción)	CO ₂	Bacterias
QUIMIOHETEROTROFOS	Materia orgánica (oxidación-reducción)	Materia orgánica	Bacterias, hongos, protozoarios, animales

Los principales microorganismos responsables de remover grandes cantidades de materia orgánica en los procesos biológicos aerobios, son las bacterias, en su mayoría aerobias y facultativas heterótrofas. Pruebas realizadas sobre un número diferente de bacterias indican que están constituidas por aproximadamente 80 por ciento de agua y 20% de material seco, del cual 90 por ciento es orgánico y 10 por ciento inorgánico, una fórmula aceptada para la materia orgánica es $C_5H_7O_2N$, del cual 53 por ciento de peso seco es carbono.

Además de la fuente de carbono orgánico y la presencia de oxígeno, principales abastecedores de carbono y energía para la síntesis y mantenimiento de funciones, debe haber elementos inorgánicos como nitrógeno y fósforo, y trazas de elementos como azufre, potasio, calcio, y magnesio, que son vitales para la síntesis celular.

En presencia de oxígeno, la oxidación aeróbica toma lugar; parte de la materia orgánica es sintetizada a nuevos microorganismos, otra parte es oxidada a productos finales relativamente estables como CO_2 , H_2O y NH_3 , y en ausencia de materia orgánica las mismas células o microorganismos entran en una etapa endógena para obtener la energía necesaria para el mantenimiento de sus funciones. En la mayoría de los tratamientos biológicos estos tres procesos ocurren simultáneamente.

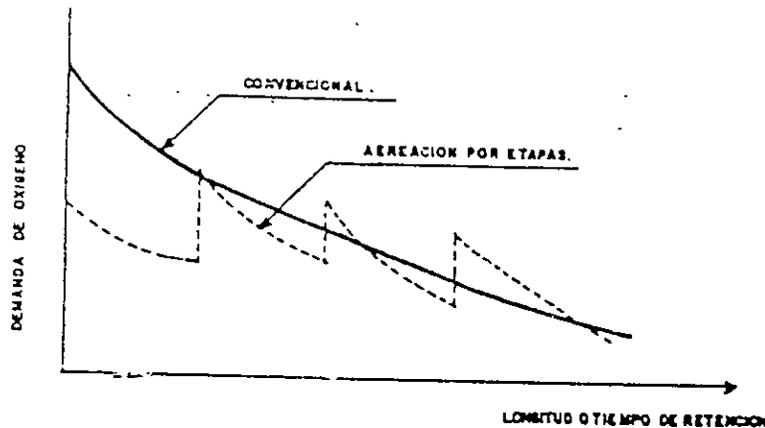
En el proceso de lodos activados, la bacteria es el microorganismo de mayor importancia, ya que esta es responsable de la descomposición de la materia orgánica en el influente. En general las bacterias en el proceso son gram-negativo e incluyen miembros de los géneros *Pseudomonas*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Flavobacrium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium* y las bacterias nitrificantes *Nitrosomas* y *Nitrobacter*. Adicionalmente, varias formas filamentosas tales como *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* y *Geotrichum* pueden también estar presentes. Mientras que las bacterias son los microorganismos que realmente degradan la materia orgánica, las actividades metabólicas de otros organismos son también importantes en el proceso de tratamiento. Por ejemplo, los protozoarios y los rotíferos consumen las partículas orgánicas pequeñas que no se han sedimentado.

Cabe destacar que los modelos matemáticos desarrollados para evaluar la tratabilidad de la materia orgánica contenida en las aguas residuales están basados en el comportamiento de reactores completamente mezclados, lo que implica que aplicar resultados al diseño de tanques en flujo pistón generará en general mejores respuestas.

Lo importante dentro del proceso es que las bacterias consuman la materia orgánica tan rápido como sea posible, es así mismo importante que ellas se agrupen en un flóculo adecuado que pueda sedimentarse fácilmente. Se ha observado que a medida que el tiempo de residencia celular (t_s) se incrementa, la carga superficial de los microorganismos se reduce, y estos comienzan a producir la cápsula que provoca su agrupamiento incrementado su sedimentabilidad. La presencia de los polímeros que forman la cápsula, promueve la formación de flóculos y se ha encontrado que para aguas residuales domésticas, tiempos de residencia celular del orden 3 o 4 días son adecuados.

Aunque muy eficiente, al sistema convencional se le identifican dos problemas fundamentales el primero relacionado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque como se muestra donde se observa que las mayores demandas se presentan al inicio del tanque de aereación disminuyendo sensiblemente hacia el final cuanto se alcanzan las mínimas concentraciones de comida remanente. Esto ocasiona en algunos casos el agotamiento del oxígeno disuelto en parte de los tanques y un desperdicio de energía al final de los mismos. Esta situación da origen al sistema denominado aereación por etapas.

El segundo problema que se identifica en sistemas de tratamiento para el manejo de aguas residuales es en comunidades con influencia industrial; ya que concentraciones de elementos tóxicos entran en contacto con un pequeño volumen de licor mezclado resultando en muchas ocasiones niveles suficientemente altos para provocar la muerte de los microorganismos. En respuesta a esta situación se desarrolló el proceso completamente mezclado.



Demanda de oxígeno en el proceso de lodos

Flujo Pistón

El flujo pistón es aquél en el cual todo elemento de flujo deja el reactor en el mismo orden en que entró, no existe dispersión o mezcla. Todo elemento de flujo es expuesto al tratamiento en el mismo periodo de tiempo, llamado tiempo teórico de retención.

Mezcla Completa

La mezcla completa es aquella en la cual todos los elementos de flujo son instantáneamente mezclados de modo que su contenido sea perfectamente homogéneo en todos los puntos de ese sistema. En consecuencia, la concentración del efluente es igual a la concentración de la unidad de tratamiento.

Flujo Disperso

El flujo disperso se define como aquel en que cada elemento de flujo tiene un tiempo de retención diferente en cada periodo de tiempo. Es llamado también flujo arbitrario y está comprendido entre dos límites, el flujo pistón ideal y la mezcla completa.

Sistemas de aireación mecánica

Hay tres sistemas principales de aireación mecánica, aereadores superficiales, chorros de líquido y sistemas de agitación y aspersión, o sistemas "combinados". Los aereadores superficiales son los sistemas de aireación mecánica de uso más corriente en México y otros países para el tratamiento de aguas negras, a pesar de que el sistema "combinado" se encuentra en unidades compactas para el tratamiento de desechos industriales. La profundidad que se usa para el líquido es convencionalmente de 4 m.

LODOS ACTIVADOS, ALTA TASA

El proceso de alta tasa de lodos activados es una variante del proceso convencional de lodos activados, y consiste en el empleo de (a) bajos tiempos de retención hidráulica, (b) altas concentraciones de lodos activados en el reactor, (c) bajos valores de la edad de lodos y altas relaciones F/M (alimento microorganismos). El resultado de esta variante es un proceso más económico que el proceso convencional, pero con menores eficiencias en la remoción de DBO. La variante de lodos activados con alta tasa es empleada cuando los requerimientos de calidad del efluente no son muy estrictos o bien como un pretratamiento de aguas con altas concentraciones de contaminantes, antes de algún proceso secundario convencional. Debido a sus bajos tiempos de retención hidráulica, el proceso de alta tasa es muy sensible a fluctuaciones en el caudal de aguas residuales. Otro problema frecuente en el proceso de alta tasa es una pobre sedimentabilidad de los lodos biológicos.

Eficiencia del proceso

Remoción de DBO:	50 a 70%
Remoción de N-NH ₃ :	5 a 10%

Generación de lodos

La generación de lodos biológicos es función de las características del sustrato, la relación (F/M) y la edad de lodos. Para las condiciones típicas de una planta de alta tasa de aguas municipales la generación media de lodos es la siguiente:

F/M [Kg DBO/Kg SSV-día]	Generación de Lodos [Kg de lodos/Kg DBO removida]
0.4 a 0.8	0.6 a 0.8

LODOS ACTIVADOS COMPLETAMENTE MEZCLADOS

Como se mencionó anteriormente el desarrollo del sistema de lodos activados completamente mezclados obedece principalmente a disminuir las cargas puntuales tanto de materiales tóxicos como de cargas orgánicas que pudieran sobrepasar la capacidad de asimilación de un reactor en flujo pistón. El principio fundamental se basa en que toda la masa del reactor existe en todo momento la concentración de todos los materiales, involucrados, esto quiere decir que al llegar una masa de contaminantes al reactor esta se diluye instantáneamente en todo el cuerpo del reactor disminuyendo en forma drástica su concentración.

El empleo de aereadores mecánicos superficiales se adecua mas a estas condiciones de operación, aunque la aereación por difusión es también empleada tratando de provocar las condiciones mas cercanas a mezcla completa

SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CON AERACION POR ETAPAS

En esta variante de procesos de lodos activados se trata de realizar la aereación del licor mezclado de acuerdo con la demanda de oxígeno lo que motivó dos opciones diferentes, una en donde el influente al tanque de aereación es alimentado al tanque de aereación en diversos puntos como se muestra en la fig. 9.12; y la segunda establece mayor aereación al principio del tanque disminuyéndola mediante espaciamiento de los difusores o de los aereadores mecánicos al final del mismo.

En esencia esta es prácticamente la única variante con respecto al sistema convencional por lo que las condiciones de operación y de diseño son también semejantes.

AERACION EXTENDIDA

El proceso de lodos activados en su modalidad de aereación extendida es posiblemente uno de los sistemas más comúnmente empleados y con grandes posibilidades de utilización a futuro tanto para el tratamiento de aguas residuales municipales como de desechos líquidos provenientes de la industria. La principal característica de este sistema es que opera con tiempos de retención celular prolongados, normalmente entre 15 y 20 días lo que provoca que los lodos generados en plantas de este tipo estén prácticamente estabilizados disminuyendo los problemas de disposición final.

Los tiempos de aereación son más prolongados que los empleados en los sistemas convencional y completamente mezclados variando desde ocho horas hasta veinticuatro o más dependiendo de las características de los desechos a tratar. La principal razón para esta condición estriba en que los altos tiempos de retención celular implica que la fracción activa de los lodos biológicos en los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) sea muy reducida recurriéndose por lo tanto a mayores tiempos de oportunidad de contacto con un sustrato para alcanzar eficiencias de remoción razonables. Cuando los requerimientos de potencia por mezclado determinan el tamaño de los motores para aereación el tener mayores volúmenes por incremento de tiempos de retención hidráulico, significa mayores demandas de potencia lo que resulta en incosteabilidad de este proceso para su aplicación a gastos altos. En principio su aplicación se restringió a plantas con un máximo de 150 a 200 l/s; sin embargo recientes mejoras en los sistemas de aereación han fomentado su aplicación a gastos mayores. La planta de tratamiento más grande que se planea construir en nuestro país considera la aplicación de aereación extendida a un caudal de 5 m³/s.

LODOS ACTIVADOS CON ESTABILIZACION POR CONTACTO

El proceso de lodos activados de estabilización por contacto aprovecha una propiedad natural de los microorganismos que consiste en que para el metabolismo del sustrato primero es absorbido al cuerpo del organismo para posteriormente mediante procesos enzimáticos transformarlo a moléculas que pueden ser transportadas a través de la pared celular para su aprovechamiento en generación de energía o en síntesis de protoplasma biológico. Esto quiere decir que una vez absorbido el sustrato a los microorganismos estos pueden ser removidos del sistema por medio de sedimentación alcanzándose una elevada eficiencia de remoción sin haberse producido estabilización de la materia orgánica una vez concentrados los microorganismos con el sustrato son transferidos a un tanque de aereación donde se promueve el metabolismo del sustrato en volúmenes menores y con costos energéticos también menores. En la fig. 9.13 se presenta en forma esquemática este tipo de tratamiento. En general esta variante implica la reducción de los volúmenes del reactor en proporción directa al incremento en concentración de los sólidos suspendidos del licor mezclado que en los sistemas de lodos activados convencionales se mantienen entre 2000 y 4000 mg/l y que en el tanque de aereación se pueden alcanzar concentraciones de hasta 8000 a 12000 mg/l. El posible mayor costo de inversión requerido por la construcción de dos tanques de aereación se compensa tanto por los menores volúmenes y por la disminución de la energía requerida para su mezclado.

Esta variante del proceso de lodos activados puede emplearse como sustitución de cualquier otra variante, sin embargo los mayores beneficios y por lo tanto las aplicaciones más comunes están en relación con la sustitución de aereación extendida implicando largos tiempos de retención celular.

En la práctica se ha encontrado que tiempos de retención para la etapa de contacto de 1 a 3 horas y de estabilización de 3 a 6 horas alcanzando eficiencias de remoción de más del 90%. Un tanque de contacto de 3 horas de tiempo de retención con un tanque de estabilización de 6 horas operando a 3000 y 8000 mg/l de sólidos suspendidos del licor mezclado respectivamente generarán resultados equivalentes a una aereación convencional de 19 horas de tiempo de retención en un volumen equivalente a 9 horas.

LODOS ACTIVADOS CON UTILIZACION DE OXIGENO PURO

Las aguas residuales concentradas especialmente las generadas en procesos industriales con altas demandas de oxígeno para su procesamiento requieren de potencias de aereación elevadas que compiten económicamente con la generación de oxígeno que empleado en lugar de aire normal, incrementa la transferencia de este elemento para el metabolismo biológico.

La necesidad de recircular el oxígeno no aprovechado por los microorganismos obliga al empleo de tanques cerrados con mínima posibilidad de interconexión con el aire ambiente lo que encarece las inversiones y hace más compleja la operación. Es sin embargo un proceso promovido por los fabricantes de generadores de oxígeno y se ha utilizado en forma comercial principalmente en Estados Unidos y en algunos países Europeos.

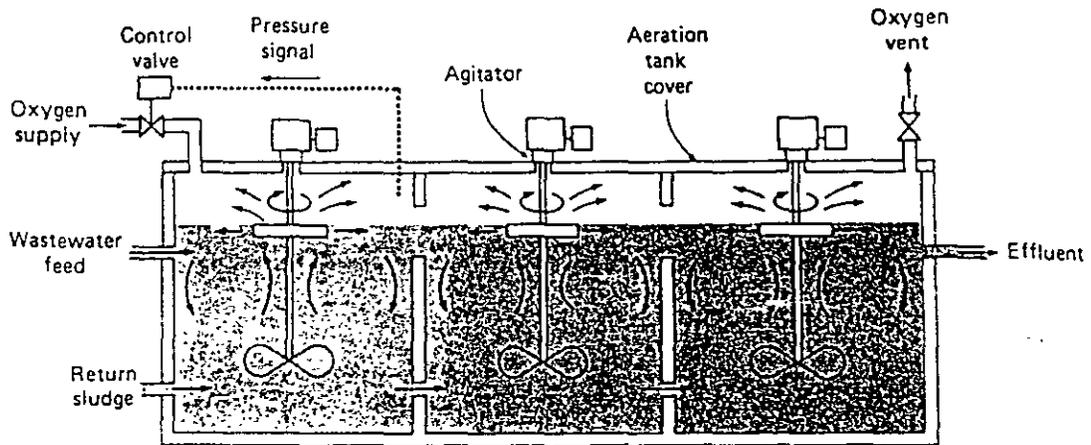


Fig. 9.14 Sistema de multietapas con oxígeno puro

ZANJAS DE OXIDACION

Una zanja de oxidación es un proceso de tratamiento biológico de lodos activados, comúnmente operado como un proceso de aereación extendida. La unidad consiste de un canal en forma de circuito cerrado, de 3 a 6 pies (0.9 a 1.8m) de profundidad, con paredes de 45° de pendiente y aereadores mecánicos, localizados en uno o varios puntos a lo ancho de la zanja. El efluente de un pretratamiento, comúnmente cribado, trituración o desarenación, entra a la zanja, es aerado por cepillos horizontales, o aereadores tipo disco diseñados especialmente para zanjas de oxidación y circula a lo largo del canal a una velocidad de aproximadamente 1 a 2 pies/seg (0.3 a 0.6 m/seg). Los aereadores crean una mezcla y provocan la circulación del agua en la zanja, así como una transferencia de oxígeno suficiente. La mezcla en el canal es uniforme, pero pueden existir zonas de baja concentración de oxígeno disuelto. Los aereadores operan en un ámbito de 60 a 110 RPM y proporcionan velocidad suficiente para mantener los sólidos en suspensión. En este proceso puede ocurrir un alto grado de nitrificación, sin ninguna modificación del sistema en especial. La razón de lo anterior se debe a los largos tiempos de retención de los sólidos utilizados (10 a 50 días). El efluente de las zanjas de oxidación se alimenta a los sedimentadores secundarios. El proceso de zanjas de oxidación se aplica a cualquier situación donde sea apropiado un tratamiento de lodos activados (convencional o aereación extendida). El costo del proceso de tratamiento es generalmente menor a otros procesos biológicos para un ámbito de flujos entre 0.38 a 38 Ml/día (0.1 a 10 Mgal/día).

LAGUNAS AEREADAS

El proceso de lagunas aereadas es una variante del proceso de lodos activados, con la diferencia significativa de que normalmente no se emplea recirculación de lodos. Esta diferencia trae las siguientes consecuencias:

- a) Una baja concentración de biomasa en el reactor (SSVLM de 150 a 350 mg/l),
- b) Altos tiempos de retención necesarios para obtener eficiencias comparables a las del proceso de lodos activados convencional (tiempos de retención de 2 a 7 días),
- c) Grandes volúmenes de los reactores por lo que resulta mas económico construirlos en forma de lagunas con bordos de tierra

Físicamente las lagunas aereadas son similares a las lagunas de estabilización, con una importante diferencia, que el oxígeno necesario para conservar el proceso de bio-oxidación es suministrado mecánicamente en el caso de las lagunas aereadas.

Características del Proceso

Las ecuaciones para el cálculo de necesidades de oxígeno, de generación de lodos y de cinética de remoción de DBO son similares, en principio, a las ecuaciones de proceso convencional de lodos activados, pero con algunas diferencias prácticas, como a continuación se explica.

Requerimientos de Oxígeno

Las lagunas aereadas pueden ser diseñadas totalmente mezcladas y totalmente aeróbicas o parcialmente mezcladas y facultativas (una parte del volumen se encuentra en condiciones aeróbicas y el resto en condiciones anaeróbicas). En ambos casos, para conservar los sólidos volátiles en suspensión es necesario inyectar al sistema una cierta cantidad de energía en forma de mezclado. Generalmente, la cantidad de energía requerida por mezclado es mayor que la cantidad de energía requerida por suministro de oxígeno, razón por la cual los requerimientos de mezclado gobiernan generalmente la selección del tamaño de los equipos de aereación.

MICROORGANISMOS ADHERIDOS A UN MEDIO FIJO

FILTROS BIOLÓGICOS

También se les conoce como filtros percoladores, filtros rociadores o biofiltros

Hace años se observó que el crecimiento de organismos productores de limo ocurría con la autopurificación del agua en las corrientes. El filtro biológico es uno de los varios procesos de tratamiento que se han desarrollado con la intención de encontrar un método económico y eficiente para desarrollar los medios naturales de purificación. En forma simple, se trata de proveer una superficie en la cual el estado microbiológico pueda crecer al exponer esta superficie en forma continua a las aguas residuales y al aire para la adsorción y asimilación de materia orgánica con aereación. Así el método consiste en dejar escurrir el agua residual en un filtro empacado con piedra o con algún medio sintético, en la superficie del medio se desarrollan crecimientos biológicos que biooxidan la materia orgánica presente en el agua y el efluente es recolectado en el fondo del filtro.

Una vez que el filtro se encuentra operando, la superficie del medio comienza a cubrirse con una sustancia viscosa y gelatinosa conteniendo bacterias y otro tipo de microorganismos. El efluente de la sedimentación primaria es distribuido uniformemente en el medio de soporte del filtro a través de un sistema distribuidor de flujo. El oxígeno para que se lleve a cabo el metabolismo biológico aerobio es suministrado por la circulación del aire a través de los intersticios entre el medio filtrante y, parcialmente, por el oxígeno disuelto presente en el agua residual. Al cabo de un tiempo, comienza el crecimiento microbiano en la interfase anaerobia del medio filtrante, generando el crecimiento de organismos anaerobios y facultativos que junto con los organismos aerobios forman el mecanismo básico para la remoción de la materia orgánica. En algunos casos cuando las torres de los filtros son muy altas, y/o la concentración de DBO en el influente muy grande puede ser necesario la inducción de flujo de aire por medio de ventiladores o sopladores instalados en ventílas que se dejan en la parte inferior de estos filtros.

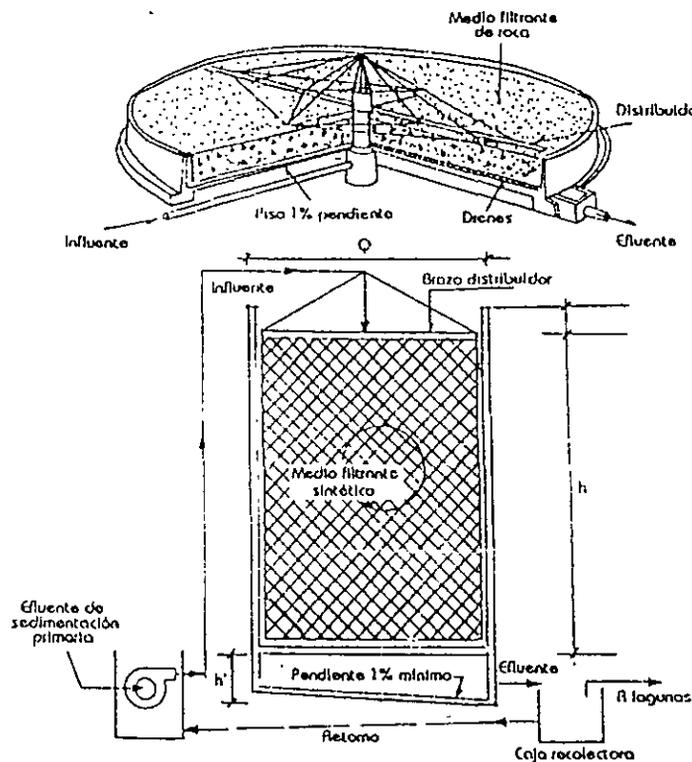
La cantidad de biomasa producida es controlada por la disponibilidad de alimento. El crecimiento puede incrementarse proporcionalmente con el aumento de la carga orgánica hasta lograr un espesor máximo deseado. Este crecimiento máximo es controlado por factores de tipo físico que incluyen rapidez de dosificación, tipo de medio, tipo de materia orgánica, cantidad de nutrientes esenciales presentes y temperatura. Durante la operación de los filtros la biomasa se desprende en forma periódica o continua.

El efluente del filtro biológico deberá pasar a través de un clarificador secundario para coleccionar la biomasa desprendida. La sedimentación primaria es necesaria antes de los filtros con medio de roca para minimizar los problemas de obstrucción. Por otro lado, si los sólidos presentes en el agua residual han sido tratados con desmenuzadores o trituradores no se requiere la sedimentación primaria y el medio de soporte deberá ser preferentemente de plástico corrugado o material con un gran número de espacios vacíos que es directamente proporcional al área superficial.

La recirculación del efluente del filtro percolador se ha utilizado para mejorar la eficiencia del filtro. Incrementando la velocidad de distribución del flujo se reduce la probabilidad de tener una superficie seca cuando el gasto disminuye, de tal modo que se mantenga la capacidad de diseño. Esto es, flujos altos mantienen la fuerza cortante para desprender la biomasa en exceso.

Filtros Empacados con Roca : Baja, Media y Alta Tasa
 Filtros Empacados con Medio Sintético : Alta, Muy Alta y Desbaste

El proceso de filtración biológica va precedido, generalmente, de una sedimentación primaria para remover los sólidos en suspensión que puedan obturar el filtro. Ya que la biomasa responsable del proceso de bio-oxidación está adherida al medio de empaque, y no en suspensión como en el caso del proceso de lodos activados, la biomasa no es arrastrada en el efluente y por lo tanto no es necesaria la recirculación de lodos biológicos. Sin embargo, el exceso de lodos sí es arrastrado en el efluente, razón por la cual es común la instalación de sedimentadores secundarios para la colección del exceso de lodo. La cantidad de lodos generados en exceso es función de la DBO removida y de la densidad de carga orgánica sobre el filtro (a menor densidad de carga, menor generación de exceso de lodos). El arrastre del exceso de lodos puede ser intermitente, en forma de purgas periódicas, o en forma continua a una tasa constante, dependiendo, principalmente, de las condiciones de carga hidráulica y características físicas del medio de empaque.



Esquemas de filtros biológicos horizontal con piedra y vertical con medio sintéticos

La profundidad de los filtros biológicos varía en un ámbito muy grande, dependiendo principalmente del tipo de medio de empaque empleado. Para filtros empacados con piedra, las profundidades normales son de 1.5 a 3 metros. Para filtros empacados con medios sintéticos las profundidades pueden variar de 1.5 a 10 metros. En términos generales, la eficiencia de un filtro aumenta en forma proporcional (no lineal) con su profundidad.

En los circulares el agua es alimentada en la parte superior del filtro por medio de brazos giratorios. Los brazos distribuidores son alimentados por el centro, haciendo girar la misma fuerza del agua estos brazos. Los brazos están provistos de orificios y difusores para la distribución uniforme del agua en el medio. Los distribuidores rotatorios se fabrican para tanques con diámetros de 6 a 60 m.

Teoría básica de la operación

El nombre de FILTRO puede resultar confuso dado que el principal proceso de remoción de la materia orgánica no es la filtración física a través de la porosidad del medio, sino por la difusión y asimilación de la misma materia orgánica por los microorganismos. El agua residual percola en forma descendente a través del medio elegido y el efluente se recoge en el fondo. Se forma una capa o película de limo o biomasa adherida al material filtrante. La capa tiene un espesor comprendido entre 0.1 y 2 mm. y está formada por dos capas: una anaerobia y otra aerobia.

El espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual y de la DBO_5 . Cuanto mayor sea el valor de la DBO_5 , menor será el espesor de la capa aerobia. Generalmente se asume que el flujo de las aguas residuales es laminar para las cargas hidráulicas que normalmente se presentan durante la operación de la planta.

El sustrato se oxida parcialmente para proporcionar la energía necesaria al proceso biológico. Otra parte se utiliza para sintetizar nuevo material microorgánico que va a formar parte de la capa biológica. La materia orgánica y coloidal se separa mediante la oxidación aerobia, biosorción, coagulación y descomposición anaerobia. En la subcapa anaerobia, la degradación ocurre con formación de ácidos orgánicos como metano (CH_4) y ácido sulfhídrico (H_2S).

Prácticamente no existe disminución de carga orgánica debido a filtración mecánica.

Un espesor de la capa mayor a 2 mm. puede ocasionar obstrucción al paso de las aguas residuales y una reducción de la transferencia del oxígeno a los microorganismos aerobios. Conforme la capa de limo aumenta de espesor, la materia orgánica se metaboliza antes de alcanzar la capa de microorganismos adheridos a la superficie del medio filtrante. Estos microorganismos quedan sin alimentación y tienden a pasar a la fase de respiración endógena; en este estado la capa pierde su capacidad para unirse a la superficie y se desprende, con lo que se tiene un control del espesor. Este fenómeno conocido como "desprendimiento", es función de las cargas hidráulica y orgánica.

Componentes básicos de un filtro percolador.

- Medio filtrante
Es el medio físico en el cual se propicia la formación de una película gelatinosa (llamada zooglea) constituida por una población heterogénea de microorganismos cuya acción física y bioquímica descompone la materia orgánica disuelta en las aguas residuales al tomarla como alimento.
- Sistema de distribución
Es un dispositivo hidráulico que tiene por objeto repartir uniformemente el agua residual en la superficie del medio filtrante.
- Sistema de bajo dren
Es el componente que se encuentra en el fondo del filtro y que soporta al medio filtrante; recibe y colecta el agua filtrada, y permite la ventilación para mantener adecuadas condiciones aerobias en la zooglea.

Medio filtrante

- Material pétreo. De 2 a 4 pulgadas (5 a 10 cm) de granulometría uniforme.

Material sintético

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Esferas de vidrio
- Esferas de porcelana
- Polietileno de alta densidad
- Asbesto
- Carbón

El material debe ser durable y resistente

Debe poseer una gran relación de área superficial por unidad de volumen.

En general el material sintético es de un mayor costo en relación con el material pétreo, pero tiene una mayor carga superficial.

DISCOS BIOLÓGICOS O BIODISCOS

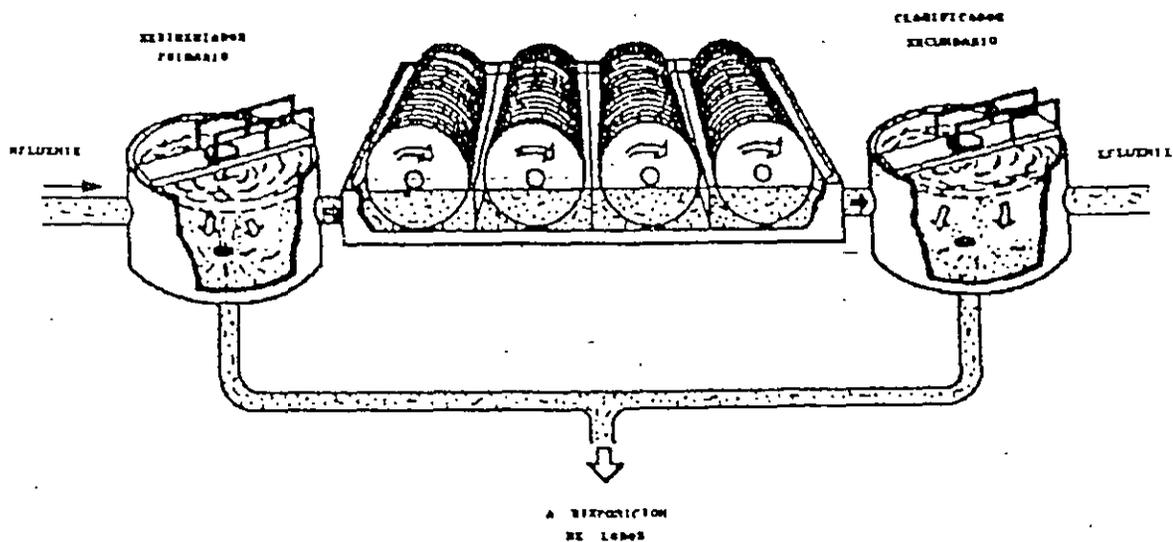
Es un proceso eficiente que no tiene complejidad mecánica en la operación y mantenimiento de las unidades.

Están constituidos de una serie de discos actualmente de plástico de alta densidad de 1 a 1.5 cm. de espesor, cercanos entre sí, que tienen un diámetro de 3.0 a 3.6 m. (10 a 12 pies), montados sobre un eje o flecha horizontal rotatoria que tiene una longitud de 7.6 m. (25 pies).

Cuarenta por ciento de la superficie de los discos está sumergida en las aguas residuales, para poder constituir una película biológica fija de 1 a 4 mm. de espesor. Los discos

están accionados por un motor y giran a una velocidad de 1 a 2 RPM, pero generalmente de 1.4 a 1.6 RPM teniendo los discos contacto con el agua residual y la atmósfera al mismo tiempo

Los microorganismos, presentes naturalmente en el agua residual, se adhieren al medio formando una capa delgada en todo el disco. La población biológica en el medio se acumula y se alimenta de los organismos presentes en el agua residual. La turbulencia causada por la rotación de los discos mantiene la biomasa en suspensión. Los sólidos suspendidos son transportados con el agua residual a un sedimentador secundario. Los sistemas de discos biológicos son clasificados por la densidad del medio, el tipo de transmisión, aplicación, arreglo y modo de operación. Actualmente el medio se clasifica como: de baja densidad, el cual es usado en el primer paso de remoción de DBO_5 ; de densidad media, el cual es usado en donde se disminuye la remoción de DBO_5 y comienza la nitrificación; de densidad alta, el cual es usado para la nitrificación. El área superficial varía de proveedor a proveedor, pero generalmente, para medios de densidad baja es de $9,300 \text{ m}^2$ ($100,000 \text{ pies}^2$) para diámetros de 3.7 m (12 pies), y flechas de 7.6 m (25 pies) de largo; para medios de densidad media el área es de $11,600 \text{ m}^2$ ($125,000 \text{ pies}^2$); para medios de densidad alta el área es de $14,000 \text{ m}^2$ ($150,000 \text{ pies}^2$). El sistema deberá contar con recirculación para periodos de flujos o cargas bajas. El sistema puede constar de uno o varios pasos, dependiendo de los objetivos de tratamiento.



Sistema de biodiscos

Las condiciones anaerobias son uno de los principales problemas relacionados con la operación de biodiscos. Al presentarse anaerobiosis, se origina la degradación de los polímeros que dan consistencia a la biopelícula y, como consecuencia, se desprende la biomasa de la superficie del medio de soporte. En un sistema de biodiscos, la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas de desecho está limitada generalmente por la rapidez de difusión del oxígeno hacia la película y dentro de ella, y no por la rapidez de difusión del sustrato. La rapidez de utilización del sustrato aumenta con la velocidad de rotación, ya que las velocidades altas mejoran la transferencia de oxígeno. Sin embargo, como se mencionó, la velocidad de rotación no puede crecer indefinidamente sin causar problemas.

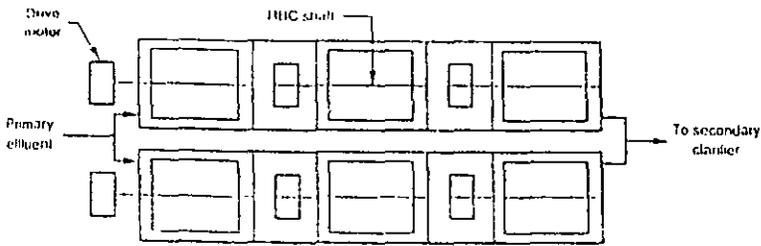
Ventajas

Las principales ventajas del proceso de biodiscos sobre otros tratamientos biológicos de agua de desecho son el bajo consumo de energía y la simplicidad de operación y mantenimiento, otra ventaja del sistema de biodiscos es que se puede diseñar fácilmente unidades para aumentar su capacidad en el futuro. El proceso no necesita recircular los lodos desde el sedimentador secundario, con lo cual se ahorran las bombas de recirculación y la tubería correspondiente. Además, el control del proceso es muy simple. El biodisco no es afectado negativamente por sobrecargas hidráulicas, ya que tiene una capa de microorganismos adherida. Se ha informado que una sobre carga hidráulica con duración de tres minutos no causa desprendimiento significativo de la biomasa y que el biodisco puede recobrar rápidamente su estabilidad en los casos donde las cargas hidráulicas y/u orgánica aumenten y/o disminuyan en forma súbita o varíen de forma intermitente. Esta es una característica muy importante del proceso, sobre todo cuando se trata de aguas de desecho de una industria o de alguna zona de recreación.

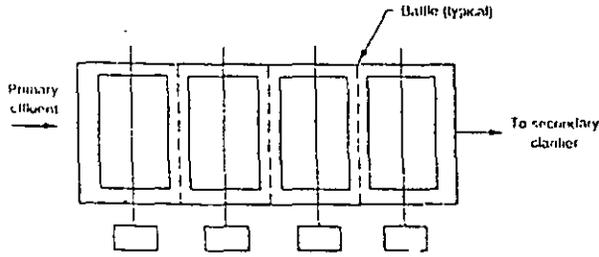
La concentración de sólidos en el efluente de un biodisco es menor que la DBO o igual a esta, esto significa que para aguas de desecho de tipo doméstico, dicha concentración es igual a 30 mg SST/l o menor. Aunque en algunos casos la concentración de sólidos alcanza valores de 200 mg/l. Lo anterior implica que el tamaño del sedimentador secundario debe ser pequeño para el proceso de biodiscos, ya que la carga de sólidos es menor. Además la biomasa desprendida de los discos se presenta en forma de agregados grandes y densos, los cuales sedimentan fácilmente. Comparado con otros procesos de película fija, es posible afirmar que el biodisco retiene una película biológica que se utiliza efectivamente en toda el área de contacto. Además no es necesario lavar el disco para eliminar el exceso de biomasa, ya que no hay acumulación. En el biodisco se puede utilizar con éxito el clarificador subyacente o subterráneo, el cual ofrece ventajas pues reduce costos de construcción, requerimientos de área de terreno y pérdidas de carga hidráulica. El proceso de biodiscos carece de los problemas de aerosol y ruido que se presenta en todos los sistemas de lodos activados. Cuando se tratan aguas de desecho con agentes tensoactivos, se produce el problema de la espuma el cual es más severo en el sistema de lodos activados (sobre todo en el aereado mecánicamente) que en el de biodiscos.

Desventajas

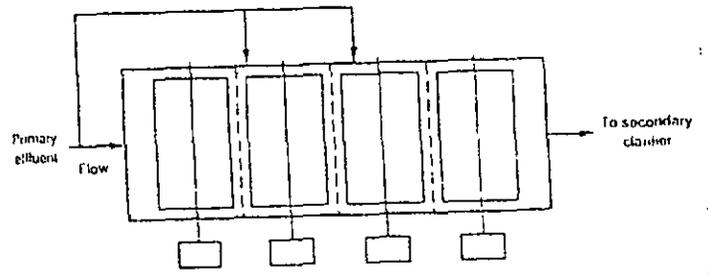
La principal desventaja de los biodiscos con hojas corrugadas de polietileno es su difícil fabricación. Por otra parte, el diseño mecánico del sistema debe ser riguroso, pues se han registrado varios casos de rompimiento y desanclaje de la flecha que soporta los discos. Además para efectuar la instalación, generalmente se requieren grandes grúas y personal especializado. Como el proceso involucra tres fases- líquida, sólida y gaseosa- no se ha podido desarrollar un modelo matemático que lo represente satisfactoriamente. Los modelos simples resultan insuficientes y los complicados involucran tantas variables que es necesario invertir tiempo y capital en su calibración. Por ello, el diseño se sigue basando en forma importante en la experiencia del ingeniero. Otro inconveniente de los biodiscos es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede en otros sistemas convencionales.



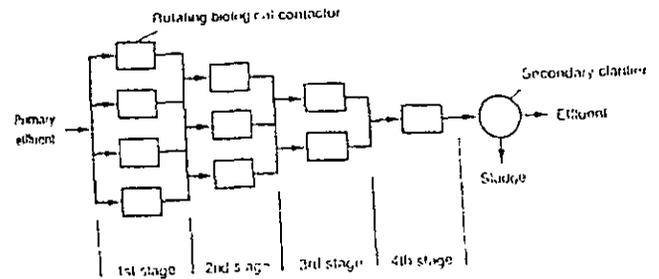
(a)



(b)



(c)



(d)

Arreglos para diferentes etapas de biodiscos

LAGUNAS DE ESTABILIZACION:

Las lagunas o estanques de estabilización son medios simples y flexibles de tratamiento de aguas residuales para la descomposición biológica del material orgánico. Los tipos y modificaciones del sistema de lagunas son variados. Las laguna se clasifican como anaerobias, aerobias, facultativas o aerobias-aireadas o facultativas-aireadas (Fig. 21) Las lagunas aireadas frecuentemente son llamadas lagunas de oxidación.

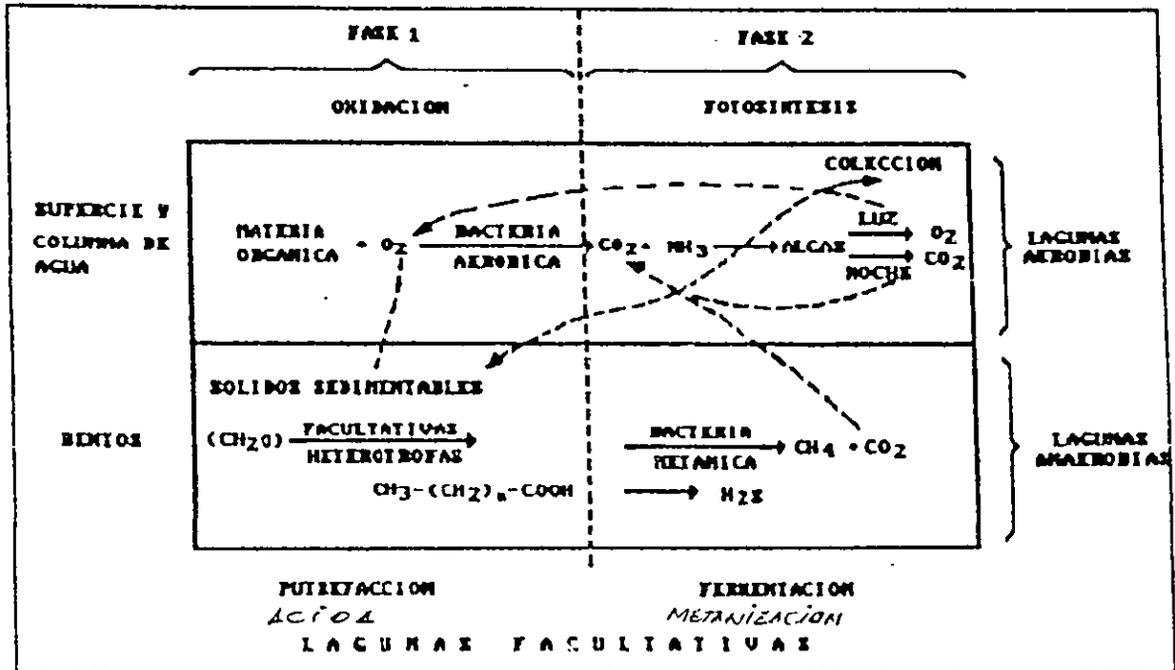


Fig. 9.21. Actividades biológica y clasificación de lagunas de estabilización. Las líneas representan los materiales producidos en uno de los procesos que son necesarios para otros

Las lagunas son los sistemas más económicos para el tratamiento de los desechos líquidos generados en las diversas actividades humanas, éstas requieren de un diseño con bases científicas, así como de construcción y operación adecuada.

Investigación básica y aplicada también ha crecido rápidamente en los últimos años. El diseño de lagunas basado en experiencias de laboratorio y campo se han ido aproximando cada vez más. Es la opinión de un número cada vez mayor de ingenieros que las lagunas de estabilización han sufrido suficiente estudio y desarrollo, para ser consideradas uno de los principales tipos de tratamiento de aguas residuales:

Aplicabilidad

Es difícil clasificar las lagunas por tipo de desecho que reciben, tamaño, forma, modo de operación y objetivos del tratamiento; sin embargo, a continuación se presentan algunas aplicaciones típicas de lagunas de estabilización.

Si la principal consideración es la reducción de DBO, normalmente se utiliza una combinación de lagunas anaerobias y facultativas o facultativas independientes. En cambio, cuando es necesario reducir el número de organismos patógenos, las lagunas conectadas en serie dan los mejores resultados. Un sistema conectado en serie puede incluir lagunas anaerobias, facultativas y de maduración o de las últimas dos únicamente.

El esquema y forma de operar dependerán de los objetivos y grado de flexibilidad requerida del sistema. Un diseño en serie se usa generalmente donde la carga orgánica es grande y se desea reducir la cuenta de coliformes. Los sistemas en paralelo se aplican cuando se necesita tener mucha flexibilidad en la operación. Los desechos con grandes cantidades de sólidos y sustancias tóxicas o color necesitan un tratamiento especial. Los desechos industriales, en contraste a las aguas residuales domésticas, requieren un tratamiento individual, para cada caso.

Los procesos biológicos se controlan principalmente mediante el tiempo de retención y la temperatura, y para tener una operación ideal, es deseable que los gastos de entrada y salida sean iguales. Aunque diferencias en los gastos no destruyen el sistema, percolación y evaporación excesivas pueden ejercer una influencia muy marcada sobre un sistema de lagunas de estabilización. La laguna de maduración se ha vuelto una parte integral de los sistemas de tratamiento por lagunas en varias partes del mundo, ya que el efluente de estas lagunas es comparable con los resultados obtenidos de la cloración de efluentes de filtros de arena.

El uso de lagunas de estabilización ha proliferado en todo el mundo, para recibir el efluente de unidades de tratamiento biológico sobrecargadas. Este tipo de lagunas se diseñan para mejorar el efluente de plantas de lodos activados, filtros biológicos, lagunas anaerobias y facultativas, etc. Normalmente, el objetivo es el de preparar el agua para ser reutilizada, disminuyendo la DBO.

En varios países se está prestando mayor atención a la recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas. En Israel, donde el uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales tiene grandes ventajas sobre plantas convencionales, se han elaborado sistemas de lagunas para manejar los desechos de ciudades en exceso de un millón de habitantes. Los sistemas incluyen el uso de lagunas anaerobias y facultativas; y, el efluente se infiltra al subsuelo, para extraerlo dos años después a través de pozos.

Tipos de Lagunas

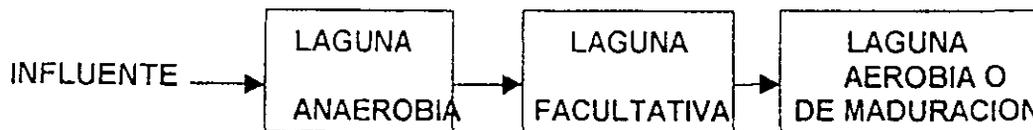
El término laguna de estabilización se usa para describir cualquier laguna o sistema de lagunas diseñadas para el tratamiento biológico de aguas residuales. Una laguna de estabilización anaerobia, como proceso de pretratamiento, es básicamente un digestor que no requiere oxígeno disuelto, ya que las bacterias anaerobias degradan los desechos orgánicos complejos. Una laguna de estabilización aerobia es una donde las bacterias aerobias degradan los desechos y las algas a través de la fotosíntesis, proporcionan suficiente oxígeno para mantener el sistema aerobio. Una laguna de estabilización facultativa es una donde existe una capa superior aerobia (mantenida por las algas) y una zona inferior anaerobia. En la laguna

facultativa se pueden encontrar organismos aerobios, facultativos y anaerobios. La laguna de estabilización mecánicamente aereada es una donde aereadores mecánicos suplementan o remplazan a las algas como medio para proporcionar el oxígeno disuelto requerido. Este tipo de laguna puede funcionar como un sistema aerobio o facultativo. En algunas lagunas aeradas mecánicamente, la turbulencia puede no ser suficiente para mantener todos los sólidos en suspensión; por consiguiente, los lodos se pueden sedimentar y entrar en descomposición anaerobia, mientras que el resto de la laguna permanece aerobia.

Lagunas que reciben aguas residuales crudas se denomina lagunas de estabilización primarias. Lagunas que reciben efluentes de sedimentación primaria o tratamiento biológico secundario se denominan lagunas de estabilización secundaria. Igualmente, una laguna que sirve como segundo o tercer elemento de una serie funciona como una unidad aerobia o facultativa secundaria. Una laguna cuya principal función es la reducción del número de organismos patógenos, mediante un tiempo prolongado de retención se llama laguna de maduración. Una laguna de maduración puede ser utilizada para la cria de peces, tales como carpa y puede ser denominada como una laguna de peces. La configuración física y el modo de operación también pueden ser utilizados para categorizar un sistema de lagunas. Las lagunas pueden ser diseñadas para funcionar en serie o en paralelo.

La mayoría de las lagunas, en uso actualmente, son unidades de tratamiento facultativo. En este aspecto, se asemejan al funcionamiento de ríos y lagos. Se mantienen condiciones aerobias cerca de la superficie y a veces a través de la mayor parte de la profundidad de la laguna. Sin embargo, persiste un ambiente anaerobio cerca del fondo, donde siempre habrá materia orgánica sólida sedimentada.

Generalmente el tren de tratamiento que se sigue en las lagunas de estabilización es:



El tren completo se aplica a las aguas residuales municipales para reducir por medio de las lagunas de maduración, el contenido de microorganismos patógenos; mientras que para el tratamiento de aguas residuales de origen industrial, es común que únicamente se aplique el tratamiento hasta lagunas facultativas. Aunque en cada caso, el tren de tratamiento dependerá del diseño, que a su vez está en función de las características del agua residual, los requerimientos en el efluente y las condiciones climáticas predominantes.

La remoción de materia orgánica de las aguas residuales es el resultado de dos mecanismos operativos en las lagunas de estabilización. El primer proceso es el de sedimentación y precipitación de sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, y hasta partículas coloidales, por la acción de sales ligeramente solubles en un ambiente de pH cambiante. El segundo proceso involucra la combinación de transformaciones biológicas causantes de la oxidación y reducción de desechos orgánicos que entran a la laguna. Las cuatro principales reacciones biológicas que se llevan a cabo en una laguna han sido descritas por Oswald y Gloyna.

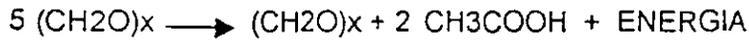
TIPOS Y APLICACIONES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE USO COMUN

TIPO DE LAGUNA O SISTEMA LAGUNAR	NOMBRE COMUN	CARACTERISTICAS QUE LO IDENTIFICAN	APLICACION
AEROBIA	a) Baja tasa	Diseñada para mantener condiciones aerobias a través de toda la profundidad del líquido	Tratamiento de desechos orgánicos solubles y efluentes secundarios
	b) Alta tasa	Diseñada para optimizar la producción de algas y tejido celular y lograr grandes producciones de proteína cosechable	Remoción de nutrientes, tratamiento de desechos orgánicos solubles, conversión de desechos
	c) Maduración o laguna terciaria	Similar a las lagunas de baja tasa pero con gran carga de iluminación	Usada para pulir los efluentes del tratamiento secundario convencional como filtros biológicos o lodos activados
AEROBIA-ANAEROBIA (Aereación como fuente de oxígeno)	Facultativa con aereación	Más profunda que las de alta tasa, la aereación y la fotosíntesis proveen el oxígeno para la estabilización aerobia en las capas superiores. Las capas bajas son facultativas, las capas del fondo experimentan digestión anaerobia	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales o desechos industriales
AEROBIA-ANAEROBIA (algas como fuente de oxígeno)	Facultativas	Lo mismo que la anterior, excepto que no tiene aereación. La fotosíntesis y aereación de la superficie provee de oxígeno las capas superiores	Tratamiento de cribado para aguas no tratadas o sedimentación primaria de aguas residuales o desechos industriales
ANAEROBIA	Anaerobia, laguna de pretratamiento anaerobio	Condiciones anaerobias prevalecen en todas partes, seguida generalmente por lagunas aerobias o facultativas	Tratamiento de aguas residuales municipales e industriales
ANAEROBIA SEGUIDA DE AEROBIA-ANAEROBICA Y DE AEROBIA	Sistema lagunar	Combinación de tipo de lagunas descritas arriba. Lagunas aerobias-anaerobias pueden ser seguidas por una laguna aerobia. Frecuentemente se utiliza recirculación de lagunas aerobias a las anaerobias	Tratamiento completo de aguas residuales municipales e industriales con alta remoción de bacterias

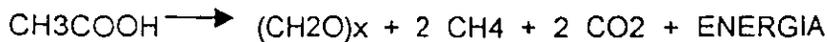
- 1) La oxidación aerobia de materia orgánica carbonosa a lodo bacteriano, bióxido de carbono y agua,



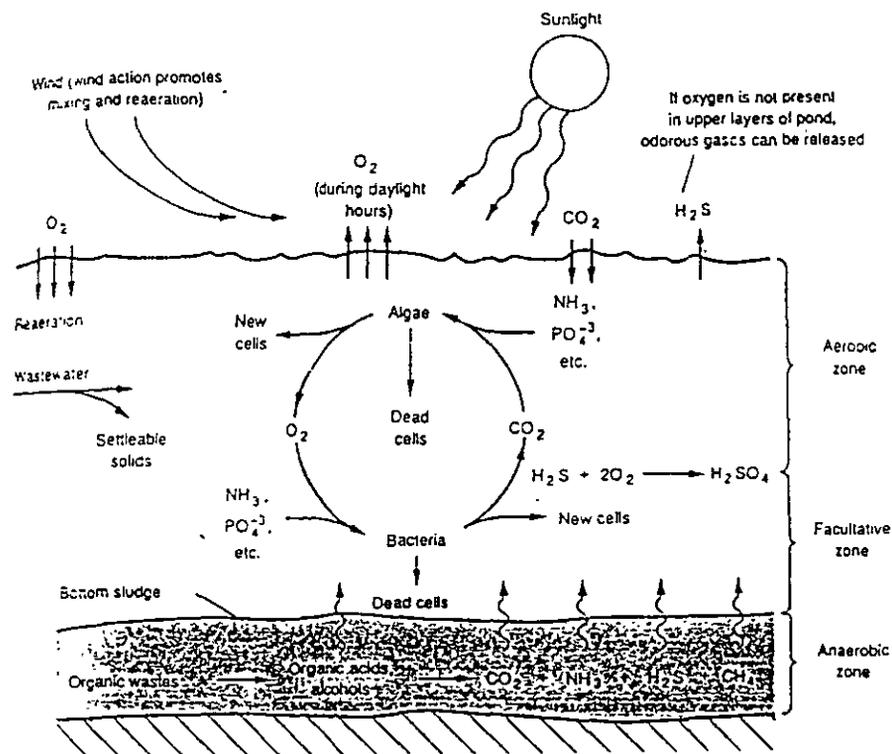
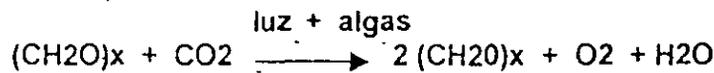
- 2) La formación de ácidos orgánicos de la conversión anaerobia de carbohidratos a células bacterianas y otros compuestos relacionados,



- 3) la fermentación a metano de los ácidos orgánicos y bióxido de carbono,



- 4) y la conversión fotosintética del bióxido de carbono a compuestos orgánicos y oxígeno libre por la luz solar,



Representación esquemática de las lagunas de estabilización

Estas cuatro transformaciones biológicas representan las reacciones fundamentales que se llevan a cabo en la mayoría de los procesos biológicos empleados en la degradación de la materia contaminante presente en las aguas residuales. Un entendimiento de como son afectadas por factores ambientales ayudará en el diseño y construcción de lagunas de estabilización. El diseño de lagunas de estabilización se ha enfocado a propiciar las condiciones que permiten el desarrollo de alguna o algunas de las reacciones mencionadas arriba. Así se pueden definir cuatro principales categorías de lagunas.

- 1) lagunas anaerobias donde las principales reacciones son la producción de ácidos orgánicos y la fermentación de metano;
- 2) lagunas facultativas donde la estratificación permite el predominio de reacciones anaerobias en la zona inferior y oxidación aerobia, en conjunción con la fotosíntesis en la parte superior;
- 3) lagunas de maduración, que son similares a las lagunas facultativas, con la excepción de que normalmente reciben el efluente de ellas y se usan exclusivamente para la reducción de organismos patógenos; y
- 4) lagunas aerobias de alta tasa, que normalmente están en condiciones aerobias en toda su profundidad y son utilizadas principalmente para obtener un rendimiento máximo de algas, con la intención de cosecharlas del efluente.

Lagunas de estabilización anaerobias

La fermentación anaerobia es un proceso de dos etapas, que es sensible a las condiciones ambientales. La fermentación es el resultado de la acción de dos diferentes tipos de bacterias, las formadoras de ácidos y las productoras de metano. Durante la etapa de formación de ácidos, grupos heterogéneos de bacterias anaerobias y facultativas convierten la materia orgánica compleja (proteínas, carbohidratos y lípidos) en ácidos orgánicos y alcoholes mediante hidrólisis y fermentación. Finalmente las bacterias del metano transforman estos productos intermedios a metano, amoníaco, bióxido de carbono, hidrógeno, agua y materia celular nueva. La fermentación ácida resulta en poca o nada de reducción de DQO y sólo en la segunda etapa es que hay remoción de materia orgánica oxidable. La cantidad removida está en proporción directa a la cantidad de metano producido.

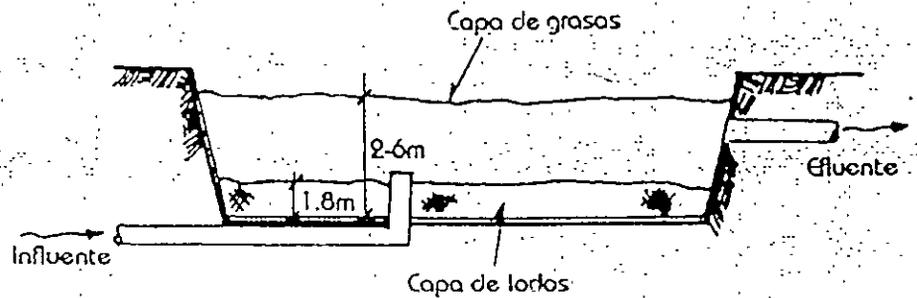
Las condiciones físicas y ambientales tienen que favorecer el desarrollo de una población sana de bacterias formadoras de metano, para que la laguna anaerobia pueda funcionar adecuadamente. Los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias formadoras de metano son los siguientes: temperatura, pH, tiempo de retención y tasa de carga orgánica. La acumulación de lodo también es una consideración importante de la ecología de la laguna, que se presenta en la figura 9.23.

Temperatura y pH. La fermentación del metano es muy sensible a la temperatura, habiéndose observado que un aumento de 5.5EC en la temperatura puede resultar en una producción siete veces mayor de gases evolucionados de la capa anaerobia de lodos. Se determinó que la cantidad de gases producidos es proporcional a la temperatura:

$$G \text{ (pies cúbicos/acre)} = 450 (T - 15)$$

La fermentación del metano puede llegar a eliminar de 60 kg DBO-5/ha/d a 16E C hasta 1200 kg DBO-5/ha/d a 35E C.

El pH varía de 6.8 en la parte ácida hasta 7.2 en la metanogénica.



Laguna anaerobia

Profundidad y Tiempo de Retención. Las lagunas anaerobias varían considerablemente en tamaño y tiempo de retención. Se han logrado eficiencias hasta del 70% de remoción de DBO-5 en lagunas anaerobias con una profundidad de 1.2 metros y tiempos de retención de tan sólo un día.

La profundidad recomendada varía desde 2.5 metros hasta 5 metros. Las lagunas con mayor profundidad tienen las ventajas de:

- 1) utilizar con mayor eficiencia el terreno,
- 2) mantener las bacterias productoras de metano protegidas de los cambios ambientales y el oxígeno disuelto; y
- 3) proporcionar una zona más compacta para la acumulación de los lodos.

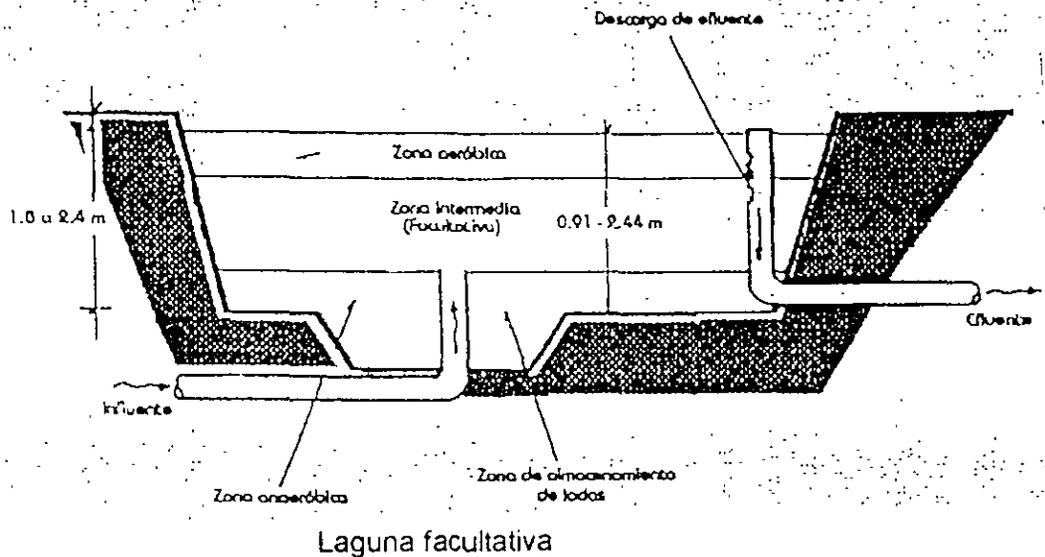
El tiempo de retención en lagunas anaerobias se debe mantener a un mínimo, que puede variar de un día hasta 5 días, para compensar por la disminución de actividad bacteriana durante las épocas de invierno. McGarry y Pescod encontraron poco significado en los efectos del tiempo de retención sobre la eficiencia en remoción de DBO-5 en lagunas anaerobias operadas en zonas cálidas; por lo cual, parece ser más importante la retención de los sólidos depositados, desde el punto de vista de evitar el lavado de la población activa de productores de metano, en la zona de fermentación, que el tiempo real de residencia del líquido. En lagunas profundas, una vez que una partícula de lodo llega a la zona de lodos, es casi seguro que permanecerá ahí hasta que sea fermentada en productos solubles y gaseosos.

Acumulación de Lodo. La principal forma de remover materia orgánica, en lagunas que tratan aguas negras, es a través de la sedimentación de sólidos suspendidos y su fermentación a metano. La materia sedimentable rápidamente llega a la zona de lodos debido a las condiciones tranquilas prevalentes en la laguna. Inicialmente, la acumulación de lodos se lleva a cabo a una tasa mayor que la degradación del lodo; una vez que la fermentación del metano alcanza su pleno desarrollo, se establece un equilibrio entre las tasas de acumulación de lodo y degradación, resultando en una acumulación neta de cero. En el caso de lagunas tratando desechos industriales se ha reportado la acumulación excesiva de lodos, necesitando la remoción de sólidos después de cinco años de operación. El lodo acumulado en lagunas anaerobias se digiere bien y es muy similar al producido en digestores anaerobios convencionales; el lodo se puede extraer sin mayor problema ni producción de condiciones indeseables.

Lagunas de Estabilización Facultativas

Las lagunas de estabilización facultativas son las de uso más común. Dentro de la laguna facultativa, la acción de tres grupos principales de organismos se integra para formar una relación útil entre las algas productoras de oxígeno y las bacterias aerobias y facultativas. El tercer grupo de organismos, las bacterias productoras de metano, es realmente responsable del 90% al 99% del total de DBO removida, de aguas negras, a través de la emisión de gases.

La profundidad de las lagunas facultativas, normalmente de 1.8 a 2 metros, es suficiente para permitir el desarrollo de estratificación térmica, en zonas facultativas y anaerobias. Las reacciones en la zona anaerobia son muy similares a las de una laguna anaerobia, descrita anteriormente. En las capas superiores abundan las algas y pueden supersaturar la laguna con oxígeno disuelto. La mayor parte del carbono sirve como fuente de energía para las bacterias y es respirado como CO_2 ; el remanente es utilizado para formar nuevas células. El CO_2 respirado por las bacterias es convertido a algas y no es removido a menos que salga en el efluente o cuando las algas y bacterias mueren, se sedimentan a la zona anaerobia y sufren fermentación a metano. Así parece que la oxigenación fotosintética y la fermentación a metano son los dos procesos claves que hacen posible la reducción de DBO en las lagunas facultativas. En la fig. C se aprecia una representación de una laguna de estabilización facultativa.



La reaeración atmosférica de poca importancia en el diseño de lagunas cuando éstas están cargadas levemente y hay un poco de mezclado debido al viento. La magnitud del déficit de oxígeno disuelto requerido para introducir cantidades apreciables de oxígeno a la laguna por difusión es lo suficientemente grande como para provocar malos olores. Normalmente, se pierde más oxígeno a la atmósfera desde lagunas saturadas durante las horas del día que el oxígeno que se absorbe durante la noche por reaeración.

Por tanto, la reoxigenación fotosintética es la principal fuente de oxígeno en una laguna facultativa. La fotosíntesis depende en gran medida de:

- luz solar abundante,
- pH y temperatura adecuados, y
- una abundante fuente de nutrientes.

Fotosíntesis y producción de Oxígeno. Existen dos fuentes de oxígeno en las lagunas de estabilización:

- a) Reaeración atmosférica, y
- b) Fotosíntesis

Temperatura y pH. La temperatura parece ser uno de los factores principales en el funcionamiento de las lagunas. La temperatura del agua sigue una curva relativamente pareja a través de las distintas estaciones del año y los cuerpos grandes de agua tienen un efecto amortiguador sobre los cambios bruscos de condiciones climatológicas.

Se ha encontrado que el funcionamiento de las lagunas depende de la temperatura,

Los efectos de la temperatura también se notan en la forma de estratificación térmica del agua. La estratificación es importante en las lagunas facultativas por la inhibición de mezclado y el mantenimiento de zonas separadas aerobias y anaerobias. Entre un 90% y 95% de la DBO última en lagunas estratificadas es removida como metano y otros gases producidos por la descomposición anaerobia en las partes inferiores de la laguna.

La fotosíntesis, con el consumo de CO₂, tiene una tendencia a subir el pH de la capa aerobia de las lagunas. Normalmente, el pH puede aumentar hasta 10 bajo condiciones favorables, dependiendo de la capacidad amortiguadora del agua de la laguna. La oxidación bacteriana máxima ocurre a un pH de 8.3 y a niveles mayores de 9.5 se ve seriamente reducido.

Profundidad y Tiempo de Retención. Las lagunas facultativas se diseñan para producir un efluente comparable con el de procesos de tratamiento secundario y, como tal, ha sido una práctica común sobrediseñarlas para, asegurar un efluente aceptable. La profundidad y el tiempo de retención son dos factores muy importantes en el diseño de lagunas facultativas.

La profundidad de una laguna facultativa debe ser suficiente para permitir que se establezca un régimen térmicamente estratificado. Se recomiendan profundidades desde 1.8 m hasta más de 2 m; aunque, en general, una profundidad de 1.8 a 2.4 m es la más comúnmente utilizada. Se ha señalado que para una superficie determinada, mayor profundidad proporciona un tiempo de retención mayor y tratamiento adicional, pero la tasa de tratamiento no aumenta en proporción directa al aumento en profundidad. De hecho, existe poca ventaja práctica en aumentar la profundidad más allá de 2.0 m para disminuir la superficie.

La profundidad mínima para lagunas facultativas es de 1.0 m, en el caso de zonas tropicales, de temperatura uniformemente alta. Aunque las lagunas someras optimizan la utilización de la luz por las algas, son más sensibles a cambios en la carga orgánica del influente. Por lo cual, donde se requieren unidades de bajo costo y poco mantenimiento, se utilizan lagunas de 2.0 o más metros de profundidad.

Dentro de los ámbitos normales de operación, se ha encontrado que el tiempo de retención y la profundidad tienen muy poca influencia sobre la remoción de DBO-5, en lagunas experimentales recibiendo aguas negras. Purushothaman mostró que lagunas con profundidades de 0.6 a 1.2 m presentan eficiencias similares en la remoción de DBO-5, del orden de 80 por ciento.

La distribución de la carga en una laguna de estabilización está influenciada por la configuración de la unidad. Shindala y Murphy estudiaron varias configuraciones de lagunas y concluyeron que las lagunas rectangulares permiten una distribución más uniforme de la carga que las de forma circular o irregular. Una relación de largo a ancho de 3 a 1 no deberá ser excedida.

El tiempo de retención parece variar más que la profundidad. Los tiempos de retención recomendados por varios investigadores va desde 7 a 30 días, dependiendo del clima y el tipo de desecho a tratar. Un tiempo de retención entre 20 y 30 días es el más comúnmente aplicado en los EUA

Nutrientes. La mayoría de las especies de algas usan sólo CO₂ libre para la fotosíntesis, pero aun con la concentración de 0.03% de CO₂, que se encuentra en el aire, se puede mantener una tasa óptima de fotosíntesis. La mayor parte de la oxidación de materia orgánica de las aguas negras es realizada por bacterias y las algas proporcionan el oxígeno para mantener las condiciones aerobias. Se supone que todo el CO₂ desprendido de la oxidación aerobia de la materia orgánica es aprovechado por las algas durante la fotosíntesis. Sin embargo, la única reducción real de carbono del sistema resulta de las pérdidas a la atmósfera de los gases, producto final de la descomposición anaerobia en la zona inferior, principalmente metano.

Se ha sugerido que las lagunas de estabilización se deben operar de tal manera que el carbono orgánico sea el factor nutricional limitante. En realidad, el carbono orgánico es el factor limitante de la mayoría de las aguas residuales, especialmente de las domésticas. La relación de DBO-5/N/P de 100/5/1 se satisface normalmente con respecto a la DBO del agua residual. En el caso particular de aguas residuales domésticas, hay disponible más que suficiente nitrógeno y fósforo para realizar el potencial de crecimiento de algas, o sea la máxima cantidad de algas que pueden crecer en el desecho si no hay otro factor que limite el crecimiento.

Normalmente, las cantidades de nitrógeno y fósforo presentes en el agua residual doméstica son tan altas (20 a 40 mg/l, cada una), que no son los factores nutricionales limitantes. Se ha encontrado que el nitrógeno no varía sustancialmente, después de 20 días de retención, en lagunas limitadas en carbono. Tampoco, se han observado casos de nitrificación en lagunas, y en la reducción de nitratos se desconoce el destino del nitrógeno. Por lo cual es evidente que, ya que tanto el nitrógeno como el fósforo son reciclados relativamente en forma rápida dentro de la laguna, el principal medio de remoción de estos elementos es por precipitación química y bioquímica, como sales inorgánicas. A su vez, estos nutrientes se regeneran muy fácilmente de los depósitos de lodos bajo condiciones anaerobias, por consiguiente, es poco probable que sean el factor limitante en la operación de las lagunas de estabilización.

Varios investigadores han observado el comportamiento de lagunas de estabilización durante variados periodos y han llegado a conclusiones que no necesariamente conducen a criterios generales de diseño. Los trabajos de Oswald (1970) en California, EUA, sobre lagunas de alta tasa, donde se maximiza la producción de algas, ha evolucionado en un tipo muy fino de laguna, que requiere equipo y operación sumamente complicada. En Africa del Sur (Meiring et al, 1968) se determinó que para la remoción de algas del efluente, con sulfato de aluminio, se requieren dosis de 400 mg/l, con las cuales se logra flocular la mayor parte de los sólidos suspendidos, quedando únicamente una concentración de sólidos de 25 mg/l en el efluente de la laguna. El resto de los sólidos se puede eliminar fácilmente en un filtro de arena. Sin embargo, este tipo de sistema no es aplicable a comunidades pequeñas, donde más se requieren las lagunas para el tratamiento de sus desechos líquidos domésticos.

Algunas objeciones al uso de lagunas de estabilización han sido:

- 1) la posibilidad de contaminación bacteriológica del subsuelo y el agua que contiene,
- 2) la descarga de aguas con un alto contenido de DBO y sólidos suspendidos como algas,
- 3) problemas de malos olores y sabor en las fuentes de agua potable, y
- 4) la provisión de sitios para la reproducción de mosquitos y otros vectores acuáticos.

En su mayoría, estas objeciones han sido eliminadas mediante un buen diseño y procedimientos adecuados de operación y mantenimiento.

TRATAMIENTO ANAEROBIO

La principal división entre los diversos procesos biológicos existentes para el tratamiento de aguas residuales se hace en relación a la forma en que los microorganismos utilizan un oxígeno. Es así que se tienen los procesos aerobios (requieren de oxígeno) y los anaerobios (requieren la ausencia de oxígeno). Esto se traduce en sistemas muy diferentes entre sí, tanto en su microbiología, como en sus aplicaciones, su ingeniería y su control.

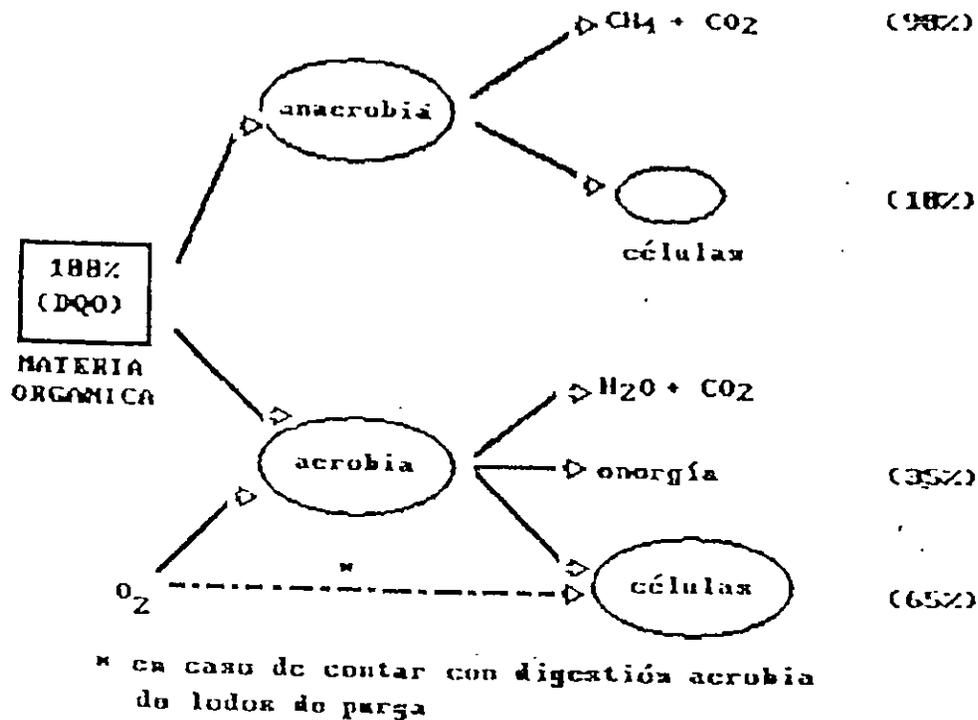
Dado que los microorganismos son los responsables de llevar a cabo un proceso biológico, sus características metabólicas determinarán el tipo de aplicación, las ventajas y desventajas del proceso en cuestión. Las principales características, desde punto de vista energético, se esquematizan en la Fig. 9.27. La energía contenida en la materia orgánica contaminante utilizada por los microorganismos, medida como demanda química de oxígeno (DQO) o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es transformada en diversos productos, dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. Es así que una bacteria anaerobia utilizará el 10% de la energía contenido en su alimento o sustrato para funciones de reproducción, dando origen a nuevas células; el 90% restante lo dirigirá al gas metano y CO_2 . Por su parte, la bacteria aerobia empleará, en presencia de oxígeno, un 60 al 65% de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras la fracción restante es utilizada para llevar a cabo ésta y otras funciones metabólicas y disipada en forma de calor.

Lo anterior trae como consecuencia, la vía anaerobia produce pocos lodos (células), mientras que la aerobia genera una cantidad aproximada de cinco veces más, con los consecuentes problemas de tratamiento y disposición de lodos de purga. Por otro lado, la energía contenida en el metano puede ser utilizada como energía calorífica directamente o transformada a mecánica o eléctrica según las necesidades existentes en el sitio. Otro punto es que el proceso aerobio requiere el suministro de oxígeno, lo que representa un costo energético importante. Es así, que mientras el proceso anaerobio es un productor neto de energía, el proceso aerobio la consume. Esta tendencia se acentúa en los casos en que los lodos de purga de la planta aerobia son digeridos aeróbicamente, lo que implica un nuevo costo energético.

En cuanto a los lodos producidos en el proceso anaerobio, además de producirse en menor cantidad, éstos ya están lo suficientemente estabilizados como para poder ser evacuados directamente sin un tratamiento previo. Por tanto, se puede considerar la vía anaerobia como altamente eficiente en la conservación de energía; mientras que en la aerobia integral (agua y lodos) el dispendio energético es considerable.

Las características anteriores se manifiestan en forma más marcada cuando se aplican ambos tipos de procesos biológicos al tratamiento de aguas residuales concentradas en materia orgánica, como es el caso de los desechos de la industria.

Cabe mencionar las desventajas de los procesos anaerobios en relación con los aerobios. Los efluentes tratados por vía anaerobia pueden requerir un postramiento, ya que conservan aún cierto contenido de materia orgánica y no tiene oxígeno disuelto. La necesidad de realizar el postramiento estará determinada por las condiciones particulares de la descarga (CPD) que le hayan sido fijadas a la empresa. En la mayoría de los casos, el postramiento será aerobio, dando como resultado un proceso combinado altamente eficiente en la remoción de los contaminantes, autosuficiente energéticamente y a costos de inversión, operación y mantenimiento sensiblemente menores que los de un proceso totalmente aerobio.



Esquema del flujo de energía de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales

Una estimación comparativa de costos, operación y mantenimiento para los sistemas totalmente aerobio, anaerobio + aerobio y totalmente anaerobio, en función de la concentración de materia orgánica en el influente, dada por Eckenfelder et al. (1988), señala que para las opciones anaerobia y anaerobia-aerobia estos son los mismos.

El proceso anaerobio (o inclusive el anaerobio + aerobio) puede generar ingresos netos, mediante la recuperación del biogás producido, cuando el agua residual tiene una alta concentración en materia orgánica. Siendo este el proceso que puede eventualmente convertir el tratamiento de las aguas residuales, no en una carga, sino en una fuente de ahorro para la industria.

Indudablemente, de las dos vías metabólicas, la aerobia ha sido hasta la fecha la más utilizada y consecuentemente, la tecnología de los tratamientos aerobios está ya bien establecida. Por su parte, la digestión anaerobia estuvo considerada por mucho tiempo como una vía promisoriosa pero sólo aplicable a contados casos.

En la actualidad gracias a los esfuerzos de investigación realizados en todos los niveles, desde el fundamental hasta el desarrollo tecnológico ha dado como resultado el surgimiento de la digestión anaerobia como una alternativa de tratamiento seria, confiable y eficiente, en muchos casos superior a los procesos aerobios. Esto no significa que ambos procesos se excluyan entre sí, sino por el contrario, en muchas ocasiones la unión anaerobia-aerobia es la mejor solución técnica y económica, fundamentalmente cuando se tienen efluentes mediana y altamente concentrados en materia orgánica, así como condiciones de descarga estrictas.

Desarrollo de los procesos anaerobios

La evolución de la tecnología anaerobia ha dado lugar a tres generaciones de reactores. La primera comprende aquellos procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión, en los de segunda generación, los microorganismos son retenidos en el reactor, ya sea al suministrarles un soporte para que se adhieran en forma de biopelícula, o bien por medio de su sedimentación; los reactores de tercera generación tienen también los microorganismos en forma de biopelícula, pero el soporte se expande o fluidifica con altas velocidades de flujo. A continuación se describen brevemente los diversos reactores existentes.

REACTORES ANAEROBIOS DE 1ª GENERACION

Los reactores anaerobios más primitivos son, por un lado la fosa séptica que será descrita más adelante, y por otro lado los digestores del tipo rural con alimentación semicontinua, de los que se tienen referencias desde el siglo pasado. Estos digestores son utilizados para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas y ganaderos, por lo que su descripción cae fuera del tema de este resumen.

- **Fosa séptica y tanque Imhoff**

La fosa séptica puede considerarse como un digestor convencional a escala muy reducida, en donde las condiciones anaerobias estrictas no son siempre cumplidas ya que existen zonas anóxicas. Su uso se ha limitado a tratar las aguas de desecho de casas habitación, escuelas, hospitales, etc.; generalmente en zonas rurales en donde no existe el servicio de drenaje. Dado que su principal función se limita a la hidrólisis de la materia orgánica en suspensión para lograr una buena eficiencia, es necesario que la fosa evacue en un sistema de zanjas de absorción colocadas en el suelo, el cual se encargará de realizar la estabilización de la materia orgánica. Los tiempos de retención en estos dispositivos son muy variables (entre 2 y 10 días)

Por su parte el tanque Imhoff, es un sistema un poco más elaborado que el anterior, ya que crea dos compartimientos distintos, el de decantación y el de digestión. Esto impide en cierto modo que los productos de la hidrólisis de los lodos sean evacuados por el efluente, lo que se traduce en mejores eficiencias de tratamiento. Sus aplicaciones han sido a nivel de pequeñas comunidades, en donde la fosa séptica no sería recomendable debido al volumen que requeriría. En ambos sistemas, una evacuación periódica de los lodos acumulados es necesaria (generalmente cada año para el tanque Imhoff y de dos años para la fosa).

- **Lagunas anaerobias**

Este es otro proceso rústico empleado en aguas de desecho industriales evacuadas a temperatura superior a la del ambiente y con cierto contenido de sólidos suspendidos sedimentables. Consiste en estanques profundos (hasta 10 m) en donde las condiciones anaerobias prevalecen, con la excepción de una pequeña zona en la superficie. Las condiciones meteorológicas influyen grandemente la operación de estos sistemas, registrándose generalmente una baja considerable en la eficiencia durante el invierno. Un punto particularmente problemático son los malos olores asociados con estos sistemas. Los tiempos de retención hidráulica reportados en la literatura son muy variables, en general mayores a 7 días.

- **Digestor anaerobio convencional**

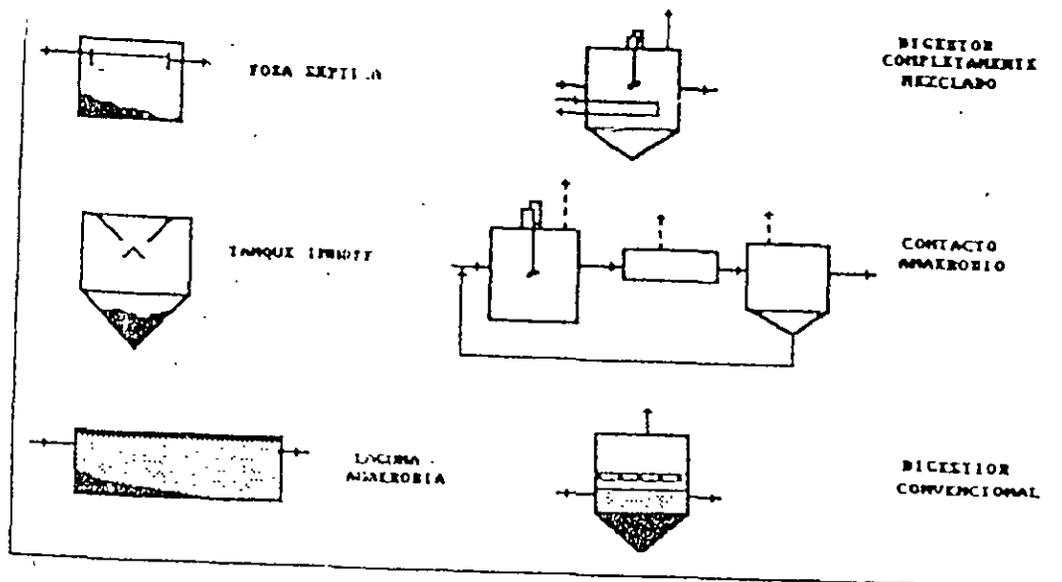
Este sistema se ha aplicado principalmente para la estabilización de los lodos de desecho provenientes del proceso de lodos activados, aunque en la actualidad sus limitadas eficiencias han hecho que sea sustituido por la versión completamente mezclada. Consiste en un tanque cerrado sin agitación y sin calentamiento, en donde el desecho por tratar se estratifica en zonas definidas. La parte en donde se lleva a cabo prácticamente la totalidad de la actividad microbiana representa alrededor del 30% del volumen total del digestor, lo que aunado a la lentitud de la cinética de degradación bajo estas condiciones, resulta en volúmenes de reactor considerable (tiempos de retención mayores a 30 días).

- **Digestor anaerobio completamente mezclado**

La introducción de una agitación vigorosa del medio de reacción, aunada frecuentemente a un calentamiento del reactor, se traduce en mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica. La agitación es lograda, ya sea por un agitador mecánico o por la inyección del biogás en el fondo del reactor. Debido a su mezcla completa, el efluente cuenta con una alta concentración de sólidos suspendidos, por lo que se desarrolló una variante que une en serie, un digestor completamente mezclado con un digestor convencional en donde se realiza la decantación de los sólidos. Su principal aplicación es en el tratamiento de los lodos de desecho de grandes plantas de lodos activados.

- **Reactor de contacto anaerobio**

Este es un sistema de transición entre la primera y la segunda generación de reactores anaerobios. Consiste básicamente en un reactor completamente mezclado acoplado a un decantador que separa la biomasa para que sea recirculada hacia el reactor. Es el equivalente anaerobio de los lodos activados. Con la recirculación, la cantidad de microorganismos en el reactor aumenta al igual que su tiempo de permanencia dentro del sistema, sin que el tiempo de retención hidráulica se incremente. Esto resulta en volúmenes de reactor más pequeños y en una mayor estabilidad del proceso. El punto problemático es la adecuada separación de los lodos anaerobios en el decantador, pues tienen tendencia a flotar, debido a las burbujas de gas atrapadas en el floculo. Esto se soluciona creando un vacío en la línea de unión entre el reactor y el decantador, lo que favorece la desgasificación. Los tiempos de retención hidráulicos son del orden de 5 días y el tiempo de residencia celular varía entre 15 y 30 días. Este sistema se ha aplicado en el tratamiento de aguas residuales de industrias alimentarias.



Reactores anaerobios de la 1ª generación

REACTORES ANAEROBIOS DE 2ª GENERACION.

El progreso logrado con este tipo de reactores se manifiesta en tiempos de retención hidráulicas sustancialmente menores (de 0.5 a 3 días), lo que implica una importante reducción en los volúmenes de reactor, y en una mayor estabilidad y facilidad en su operación. Esto se logra al retener la biomasa anaerobia dentro del reactor mediante la formación de una película de microorganismos fijos sobre soportes, o bien por medio de la sedimentación de flocos microbianos con muy buenas características de decantación. Con esto, la limitación provocada por la reducida tasa de crecimiento de las bacterias anaerobias es prácticamente eliminada.

- **-Reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB)**

Corresponde a Lettinga el desarrollo de este reactor que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o "pellets" hasta de 5 mm de diámetro. Estos granos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flocos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante de su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en el tratamiento de aguas residuales municipales, pues la limitada materia orgánica presente forma sólo pequeñas cantidades de biogás y por lo tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida. El punto débil del proceso consiste en la lentitud a la que se forman los granos, elemento indispensable del sistema. Esto puede ser solucionado mediante la inoculación importante con lodos adecuados. Las cargas orgánicas alimentadas a este reactor pueden llegar hasta 30 kg. DQO/m³.día.

Actualmente, una combinación en un mismo tanque del reactor UASB y del filtro anaerobio, conocida como reactor híbrido, está generando aceptación. La principal ventaja de este arreglo es que se optimiza el volumen del reactor y se puede reducir la pérdida masiva de lodos, accidente grave de reactores UASB.

En la fig. 9.29 se esquematizan los reactores anaerobios de 2ª generación.

9.7.3 REACTORES ANAEROBIOS DE 3ª GENERACION

Estos reactores se encuentran básicamente aún en nivel piloto o semi-industrial, aunque ya existen algunas plantas a escala real basadas en esta modalidad. Son también reactores de película fija, pero el soporte utilizado es lo suficientemente pequeño y ligero para que pueda ser fluidificado con una recirculación del efluente. Se han reportado resultados de laboratorio en extremo prometedores (Switzenbaum y Jewell, 1980, Jewell et al., 1981). Los dos tipos de reactores, el reactor de lecho expandido y el reactor de lecho fluidificado, son semejantes entre sí, diferenciándose en el grado de fluidificación del soporte (20% para el lecho expandido y superior al 50% para el lecho fluidificado). Su avance consiste en tiempos de retención aún menores, inferiores a 12 horas, ya que la superficie de soporte disponible es muy elevada (superior a 200 m²/m³) y la agitación en el lecho es vigorosa, eliminando problemas de transferencia de sustrato. Otra ventaja es que no presentan problemas de taponamiento. Sin embargo, requieren energía para la recirculación y la fluidificación del lecho; además, su arranque y operación son en extremo delicados. Las cargas aplicadas pueden sobrepasar los 40kg.DQO/m³.día.

TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

los sólidos suspendidos y algunos compuestos orgánicos son eliminados en el tratamiento secundario, en casos especiales de descargas a corrientes de agua y lagos o en algunos reusos, se puede requerir un eliminación adicional.

Los compuestos que tienen nitrógeno y fósforo disponible han llamado la atención, ya que aceleran la eutroficación de los lagos y promueven el crecimiento de plantas acuáticas. Recientemente, se ha hecho necesaria la eliminación de estos compuestos debido a que el agua residual tratada es utilizada para la recarga de acuíferos. Además, la eliminación del nitrógeno es necesaria para eliminar el amoniaco que puede tener un impacto por su toxicidad sobre algunos cuerpos receptores.

Desde la década de los ochentas se ha puesto atención sobre los compuestos tóxicos y los compuestos orgánicos volátiles presentes en las aguas residuales. En particular estos compuestos son de interés cuando se descarga el agua tratada en cuerpos de agua superficiales o es utilizada para la recarga de acuíferos, sobre todo si ésta va a ser utilizada posteriormente como fuente de agua potable.

Los sistemas de tratamiento avanzado pueden ser clasificados por el tipo de operación o proceso unitario o por la función principal de eliminación. En este capítulo se discutirán los principios y aplicaciones de los siguientes procesos y operaciones unitarias involucradas en el tratamiento avanzado o terciario de las aguas residuales:

1. Desinfección
2. Filtración
3. Eliminación de compuestos tóxicos - Adsorción
4. Eliminación de sustancias inorgánicas disueltas
5. Nitrificación
6. Desnitrificación
7. Eliminación del fósforo

Componentes típicos que se pueden encontrar en las aguas residuales tratadas y sus efectos en el ambiente y la salud.

COMPONENTE	EFEECTO	CONCENTRACION CRITICA mg/l
Sólidos suspendidos	Puede causar depósitos de lodo o interferir con el cuerpo receptor	Variable
Orgánicos biodegradables	Puede reducir o agotar el oxígeno del cuerpo receptor	Variable
Contaminantes prioritarios	Tóxico para los humanos; carcinógeno Tóxico para el ambiente acuático	Varía con los componentes individuales Varía con base en la profundidad, biota o sedimentos.
Orgánicos volátiles	Tóxico para los humanos; cancerígeno; forma oxidantes fotoquímicos	Varía con los compuestos individuales.
Nutrientes		
Amoniaco	incrementa la demanda de cloro, pueden convertirse a nitratos y con el proceso reducir o agotar el oxígeno; con el fósforo puede inducir al desarrollo de crecimientos acuáticos indeseables. Tóxico para los peces.	Cualquier cantidad Variable ^a
Nitratos	Estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas Puede causar metahemoglobinemia en los infantes (niños azules)	0,3 ^b 45 ^c
Fósforo	interfiere con el ablandamiento por el medio de cal-soda Estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas Interfiere con la coagulación	0.3 0.015 ^b 0.2-0.4
Otros inorgánicos		
Calcio y Magnesio	Incrementa la dureza y los sólidos totales disueltos	
Cloro	Imparte sabor salino Interfiere con la agricultura y los procesos industriales	250 75-200
Sulfatos	Acción catártica	600-1000
Otros orgánicos		
Agentes activos superficiales (Surfactantes)	Causa espuma y pueden interferir con la coagulación	1.0-3.0

DESINFECCIÓN

La desinfección se refiere a la destrucción selectiva de los organismos patógenos, esta es la diferencia entre la desinfección y la esterilización, en esta última se destruyen todos los organismos presentes en el agua.

Agentes y medios

En el tratamiento de las aguas residuales la desinfección que comúnmente se emplea es mediante 1) agentes químicos, 2) agentes físicos, 3) medios mecánicos y 4) radiación.

Agentes químicos. Las características que debe tener un agente químico ideal se presentan en la tabla 10.2. Como se muestra, un desinfectante ideal debe tener un gran número de características. Es posible que no exista tal compuesto, pero las características que se presentan en la tabla deberán tomarse en cuenta al seleccionar un desinfectante. Para los ingenieros sanitarios, también es importante que el desinfectante sea seguro en su manejo y aplicación, y sea fácilmente medible su concentración al aplicarlo, también en su concentración residual.

Los agentes químicos que se han usado como desinfectantes incluyen: fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, iodo, cloro y sus compuestos, bromo, ozono, metales pesados y sus compuestos, jabones y detergentes sintéticos, compuestos cuaternarios de amonio, peróxido de hidrógeno y varios álcalis y ácidos.

El desinfectante universalmente usado es el cloro. El bromo y el iodo ocasionalmente se usan en albercas. El ozono es un desinfectante sumamente efectivo, aún cuando no deja concentración residual, su uso se ha incrementado en el tratamiento de aguas. La acidez y alcalinidad extremas se pueden usar para destruir organismos patógenos, debido a que los valores de pH mayores de 11 y menores de 3 son relativamente tóxicos para la mayoría de las bacterias.

Agentes físicos. Los desinfectantes físicos que se han usado son calor y luz. Calentando el agua hasta el punto de ebullición se pueden destruir por ejemplo, las bacterias patógenas, no esporuladas. El calor se emplea comúnmente en la industria de bebidas y derivados de la leche, pero no es posible aplicarla a grandes cantidades de aguas por su alto costo.

La luz solar también es un buen desinfectante. En particular se emplea la radiación ultravioleta. Existen lámparas de luz ultravioleta para esterilizar pequeñas y grandes cantidades de agua. La eficiencia del proceso depende de la penetración de la luz en el agua, por esto, la geometría entre la lámpara de luz y el agua es muy importante, también la materia sólida suspendida y las moléculas orgánicas disueltas en el agua, pueden absorber la radiación al igual que los microorganismos. Por lo tanto es difícil emplear la radiación ultravioleta en la desinfección de aguas residuales cuando se tienen partículas suspendidas.

Medios mecánicos. Las bacterias se eliminan también por medios mecánicos durante el tratamiento de las aguas residuales. Las eficiencias típicas de remoción para varios procesos de tratamiento se reportan en la tabla 10.3., los primeros cinco procesos que se enlistan se pueden considerar físicos. La remoción es complemento de la función primaria de los procesos.

Radiación. Los principales tipos de radiación son: electromagnética, acústica y de partículas. Los rayos gamma emitidos por radioisótopos, como el cobalto 60, tienen una fuerte penetración, y se han usado para esterilizar agua y aguas residuales.

Factores que influyen en la acción de los desinfectantes.

Al aplicar alguno de los agente desinfectantes que ya se indicaron, se deben tener en cuenta los siguientes factores: 1) tiempo de contacto, 2) concentración y tipo de agente químico, 3) intensidad y naturaleza del agente físico, 4) temperatura, 5) número de organismos, 6) tipos de organismos, y 7) naturaleza del líquido.

Características de un desinfectante químico ideal

Características	Indicaciones
Toxicidad para los microorganismos	Debe tener un amplio espectro de actividad a altas diluciones
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en los tejidos celulares
Estabilidad	La pérdida de su acción germicida en almacenamiento debe ser baja
No debe ser tóxico a las formas de vida superior	Deberá ser tóxico a los microorganismos patógenos y no ser tóxico al hombre y a otras formas de vida
Homogeneidad	La solución debe ser uniforme en su composición
Interacción con materias	No debe ser adsorbido por materia orgánica
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectiva en un rango de temperatura ambiente
Penetración	Debe tener capacidad de penetración a través del agua
No corrosivo y no teñidor	No debe corroer los metales o manchar la ropa
Habilidad para deodorizar	Debe deodorizar mientras desinfecta
Capacidad detergente	Debe tener acción limpiadora para mejorar su efectividad desinfectante
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable

Remoción de bacterias en diferentes procesos de tratamiento

Procesos	% de remoción
Filtros gruesos	0-5
Filtros finos	10-20
Cámaras grit	10-25
Sedimentación simple	25-75
Precipitación química	40-8
Filtros percoladores	90-95
Lodos activados	90-98
Cloración en efluentes tratados	98-99

Tiempo de contacto. Una de las variables más importantes en el proceso de desinfección es el tiempo de retención. En general, para una concentración dada de desinfectante, el mayor tiempo de contacto ocasiona una mayor mortandad.

Intensidad y naturaleza de los agentes físicos. Como ya se indicó, los agentes físicos que alguna vez se han empleado en la desinfección de aguas residuales, son el calor y la luz. Se ha encontrado que su efectividad está en función de su intensidad. Por ejemplo, si el

Número de organismos. En un sistema diluido como las aguas residuales, la concentración de organismos rara vez es importante. Sin embargo, se puede concluir de la ecuación (5) que una concentración grande de organismos necesita un tiempo grande para lograr una mortandad determinada.

Tipos de organismos. La efectividad de los desinfectantes estará influenciada por la naturaleza de los microorganismos. Por ejemplo, las células de bacterias en crecimiento mueren fácilmente. En contraste, las esporas de bacteria son muy resistentes, y muchos de los desinfectantes comúnmente usados pueden tener poco o nulo efecto, y se debe usar otro tipo de agente desinfectante como el calor.

Naturaleza del material en suspensión. Al igual que los factores anteriores, la naturaleza del material en suspensión se debe evaluar cuidadosamente. Por ejemplo, el material orgánico extraño puede reaccionar con la mayoría de los desinfectantes oxidantes y llegar a reducir la efectividad, la turbiedad puede reducir la efectividad de los desinfectantes por adsorción y porque protege las bacterias atrapándolas.

Mecanismos de los desinfectantes. Para explicar la acción de los desinfectantes se han propuesto cuatro mecanismos: 1) daño a la pared celular, 2) alteración de la permeabilidad, 3) alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma, y 4) inhibición de la actividad enzimática.

El daño o la destrucción de la pared celular ocasionará lisis en la célula y su muerte. Algunos agentes como la penicilina, inhiben la síntesis de las paredes celulares de las bacterias.

Otros agentes como los compuestos fenólicos y los detergentes alteran la permeabilidad de la membrana citoplasmática. Estas sustancias destruyen la permeabilidad selectiva de la membrana y dejan escapar nutrientes vitales como nitrógeno y fósforo.

El calor, la radiación y los agentes fuertemente ácidos o alcalinos alteran la naturaleza coloidal del protoplasma. El calor puede coagular la proteína de la célula, mientras que los ácidos y álcalis desnaturalizan las proteínas produciendo un efecto letal.

Otro modo de desinfección es la inhibición de la actividad enzimática. Los agentes oxidantes como el cloro, pueden alterar el arreglo químico de las enzimas e inactivarlas.

Desinfección con cloro

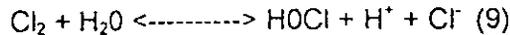
De todos los desinfectantes químicos, el cloro es posiblemente el más empleado en todo el mundo, debido a que satisface la mayoría de los requerimientos especificados'

Energías de activación para soluciones de cloro y cloraminas a temperatura normal

Compuesto	ph	E, cal
Cloro en solución	7.0	8,200
	8.5	6,400
	9.8	12,000
	10.7	15,000
Cloraminas	7.0	12,000
	8.5	14,000
	9.5	20,000

Usos y reacciones del cloro. Reacciones químicas del cloro en el agua. Cuando el cloro en forma de gas Cl_2 se pone en contacto con el agua, tienen lugar dos reacciones: la hidrólisis y la ionización.

La hidrólisis se presenta con la reacción siguiente.

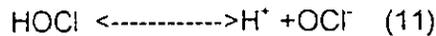


la constante de estabilidad para esta reacción es:

$$K = \frac{[HOCl][H^+][Cl^-]}{[Cl_2]} = 4.5 \times 10^{-4} \text{ a } 25^\circ C \quad (10)$$

Debido a la magnitud de este coeficiente (k), se pueden disolver grandes cantidades de cloro en el agua.

La ionización se presenta con la siguiente reacción:



la constante de ionización para esta reacción es:

$$K_i = \frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} = 2.7 \times 10^{-8} \text{ a } 25^\circ C \quad (12)$$

La variación en el valor de K_i con la temperatura se presenta en la Tabla 10.5

Valores de la constante de ionización del ácido hipocloroso a diferentes temperaturas

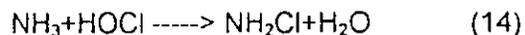
Temperatura °C	0	5	10	15	20	25
$K_i \times 10^8$ moles/litro	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7

La cantidad de HOCl y ión hipoclorito OCl⁻ que está presente en el agua se denomina cloro libre disponible. La distribución relativa de estas dos especies es muy importante por su eficiencia en la mortandad de bacterias. El HOCl es de 40 a 80 veces más eficiente que el OCl⁻. El porcentaje de distribución del HOCl para varias temperaturas se puede calcular usando la ecuación (13) y los datos de la Tabla

$$\text{HOCl}/(\text{HOCl}+\text{OCl}^-)=1/[1+\text{OCl}^-/\text{HOCl}]=1/[1+K_i/H] \quad (13)$$

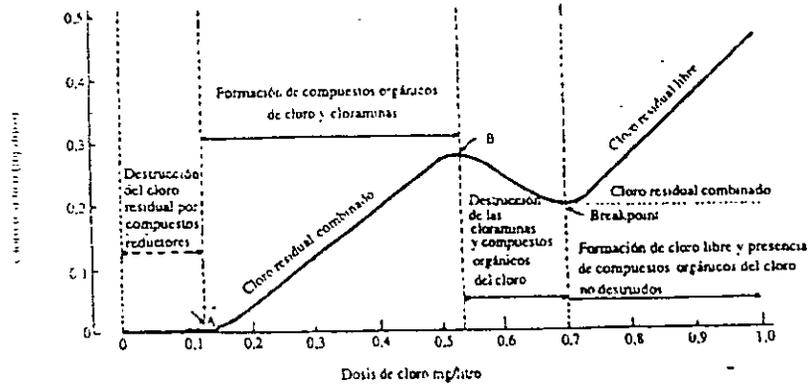
El cloro libre también puede adicionarse al agua en forma de sales de hipoclorito. El hipoclorito de calcio, Ca(OCl)₂, se emplea comúnmente con este propósito. Los iones del hipoclorito están sujetos a la reacción representada en la ecuación (11).

El cloro libre en solución puede reaccionar con el amonio en el agua residual para formar cloraminas. Las cloraminas también sirven como desinfectantes, siempre que sean extremadamente bajas en concentración, las reacciones de importancia son.



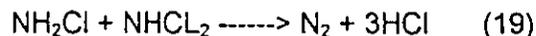
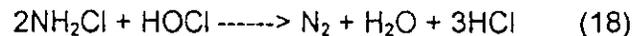
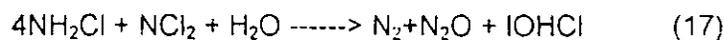
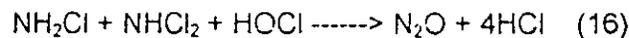
Las cloraminas (NH₂Cl), dicloraminas (NHCl₂), y el tricloruro de nitrógeno, se forman sucesivamente por reacciones de sustitución. Las dos especies que predominan, en la mayoría de los casos son las monocloraminas y las dicloraminas, y comúnmente se conocen como cloro combinado disponible.

Punto de quiebre en la cloración. El hecho de que el cloro libre puede reaccionar con el amonio, junto con el hecho de que el cloro libre es un fuerte agente oxidante, dificulta mantener un residual de cloro (libre o combinado) en la desinfección de las aguas residuales.



Curva que generalmente se obtiene durante la cloración al punto de quiebre

Cuando se adiciona el cloro, rápidamente se oxidan sustancias como Fe^{++} , Mn^{++} , H_2S , y materia orgánica que reacciona con el cloro, reduciéndolo a ion cloruro (punto A en la figura 10.1). Después de esta demanda inmediata, el cloro continúa reaccionando con el amonio para formar cloraminas entre los puntos A y B. Para relaciones molares de cloro y amonio menor de uno, se formarán monocloraminas y dicloraminas. La distribución de esas dos formas está gobernada por sus tasas de formación, las cuales dependen del pH y la temperatura. Entre el punto B y el punto de quiebre, algunas de las cloraminas se pueden convertir a tricloruro de nitrógeno, ecuación (16), mientras que las cloraminas remanentes se oxidarán a Oxido de nitrógeno y nitrógeno con la reducción del cloro a ion cloruro. Al continuar la adición de cloro, esencialmente todas las cloraminas se pueden oxidar en el punto de quiebre. Las posibles reacciones que pueden ocurrir por la generación de gases y la desaparición de cloraminas son las siguientes,



*Al continuar la adición de cloro, pasando el punto de quiebre, resultará un aumento directamente proporcional en la concentración de cloro libre disponible (hipoclorito sin reaccionar). La razón principal para adicionar suficiente cloro es obtener cloro libre residual que asegure la desinfección. Ocasionalmente, debido a la formación de tricloruro de nitrógeno y a los demás compuestos, se presentan serios problemas de olor durante la operación de cloración para llegar al punto de quiebre. En la práctica, el ácido clorhídrico que se forma durante la cloración reaccionará con la alcalinidad del agua residual y bajo ciertas circunstancias, el pH bajará ligeramente.

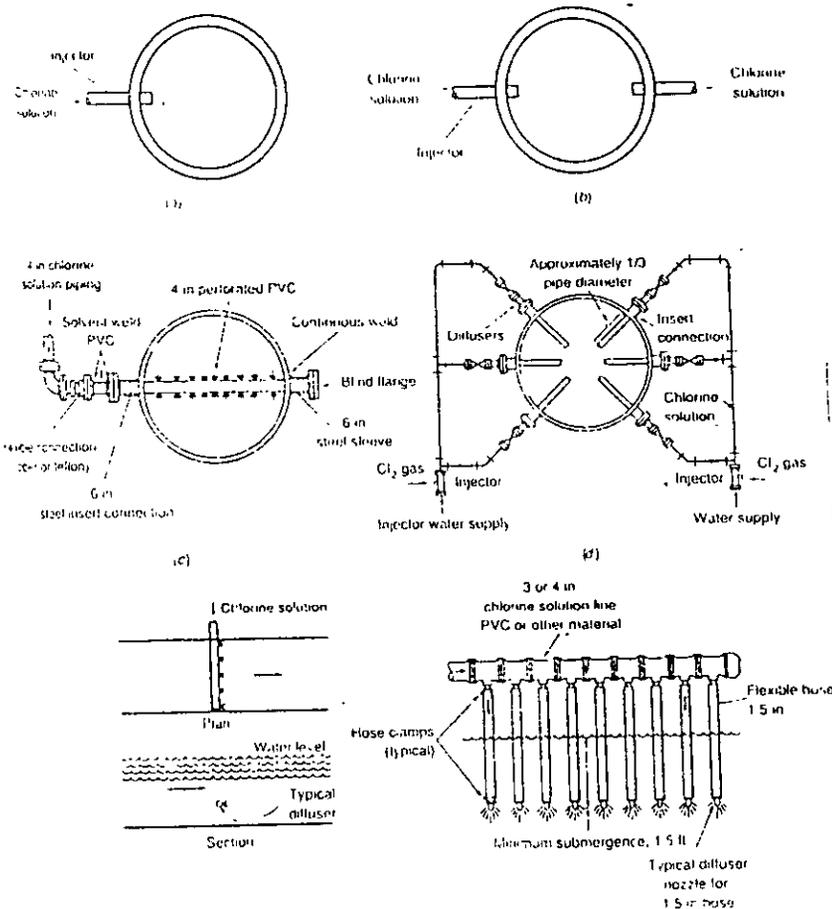
La presencia de otros compuestos que reaccionen con el cloro puede aumentar considerablemente la pendiente de la curva. La cantidad de cloro que debe adicionarse para alcanzar el nivel deseado de cloro residual se denomina demanda de cloro.

Tanque de contacto de cloro

Es importante el diseño del tanque de contacto del cloro, se recomienda diseñarlos con la relación largo-ancho mínimo de 10-1 y de preferencia de 40 a 1 para minimizar los cortos circuitos, también se reducen estas mediante la colocación de "baffles" a la entrada.

Si el tiempo de traslado del agua residual tratada desde el último proceso hasta el cuerpo receptor es igual o mayor al tiempo de contacto requerido, se puede eliminar el tanque de contacto de cloro.

Difusores típicos para inyectar solución de cloro, a) Simple para tubos pequeños, b) Doble inyector para tubos pequeños, c) Difusor para tubos mayores de 3", d) Difusores para tubos grandes, e) Difusor simple a través de un canal, f) Difusor para canales abiertas.



Declaración. En casi todos los sistemas de desinfección es necesario remover el cloro una vez que se ha completado su labor de desinfección para descargar los efluentes a los cuerpos receptores o para otros reusos. El declorador mas utilizado es un compuesto de azufre, el anhídrido sulfuroso (SO_2) que se maneja en cilindros y tanques parecidos a los utilizados con el gas cloro. También se utiliza el carbón activado. Se han usado otros compuestos químicos como sulfito de sodio (Na_2SO_3) y metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)

Desinfección con luz Ultravioleta

Una apropiada dosis de radiación ultravioleta (UV) ha mostrado ser un efectivo bactericida y virucida. además de que no contribuye a la formación de compuestos tóxicos. Actualmente la lampara de arco de mercurio de baja presión es la principal forma de generar UV usada para la desinfección. La luz ultravioleta es un agente físico desinfectante que se puede utilizar en vez de agentes químicos, la radiación penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por el material celular, incluyendo el DNA y RNA.

Desinfección con Ozono

El ozono es un oxidante reactivo extremo y se puede usar como desinfectante en aguas residuales, también puede utilizarse en el tratamiento para el control de olores y en tratamientos avanzados para remover los orgánicos solubles refractarios en lugar del proceso de adsorción con carbón activado. Debido a que el ozono es químicamente inestable, se descompone a oxígeno muy rápidamente después de que es generado y por lo tanto debe generarse en el sitio, el método mas eficiente de producción de ozono actualmente es mediante descargas eléctricas.

Se cree que la acción bactericida de la ozonización ocurre directamente porque desintegra la pared celular (lysis celular), el ozono es también muy efectivo como virucida y generalmente se cree que es mas efectivo que el cloro, la ozonización no produce sólidos disueltos y no es afectado por el ion amonio ni por el pH. Un beneficio adicional es que se eleva la concentración de oxígeno disuelto, ya que el ozono se descompone a oxígeno rápidamente después de su aplicación.

FILTRACION

Es el proceso mas efectivo para la remoción de sólidos y es el proceso que vino realmente ha hacer posible el tratamiento avanzado.

La filtración es una operación unitaria de separación sólido-líquido en la cual el líquido pasa a través de un medio poroso para eliminar la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos. En el campo de tratamiento de aguas residuales es utilizada para filtrar:

- 1) Efluentes secundarios no tratados
- 2) Efluentes secundarios tratados químicamente
- 3) Aguas residuales brutas tratadas químicamente

El objetivo de la filtración es producir un efluente de alta calidad con la menor cantidad posible de partículas en suspensión (concentraciones menores a 10 mgSS/l). La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y retrolavado de los filtros.

Los filtros se clasifican de acuerdo con:

1. El medio filtrante:

- a) Filtros con medio simple. Estos contienen un sólo tipo de medio que generalmente es arena.
- b) Filtros con medio dual. Generalmente antracita y arena.
- c) Filtros multimedia. Por lo común utilizan tres tipos de medio. antracita, arena y granate.

2. La velocidad de filtración

- a) Filtros lentos. Tasas de filtración entre 0.15 y 0.30 m³/m²-h
- b) Filtros rápidos. Tasas de filtración entre 2 y 15 m³/m²-h

3. La fuerza de filtración

- a) Por gravedad
- b) A presión

4. La dirección de flujo

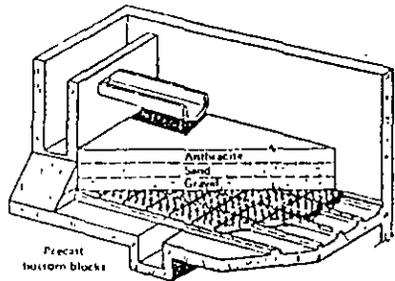
- a) Filtración ascendente
- b) Filtración descendente

5. El control del flujo

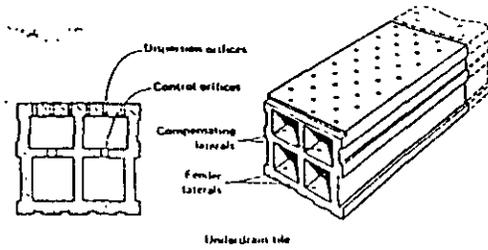
- a) Filtración a tasa constante
- b) Filtración a tasa variable (tasa declinante)

Los mecanismos de eliminación de las partículas en la filtración son los siguientes:

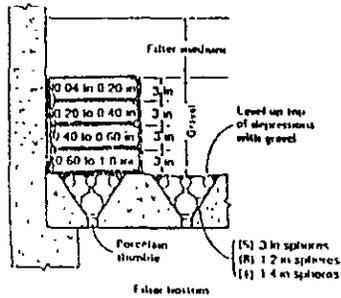
1. Tamizado. Las partículas más grandes que el tamaño del poro son retenidas mecánicamente.
2. Sedimentación. Las partículas decantan en el medio filtrante.
3. Impacto. Las partículas más pesadas no siguen la línea de flujo.
4. Intercepción. Muchas partículas contenidas en la corriente son retenidas cuando éstas se ponen en contacto con la superficie del medio de filtración.
5. Adhesión. Las partículas floculantes se pegan a la superficie del filtro.



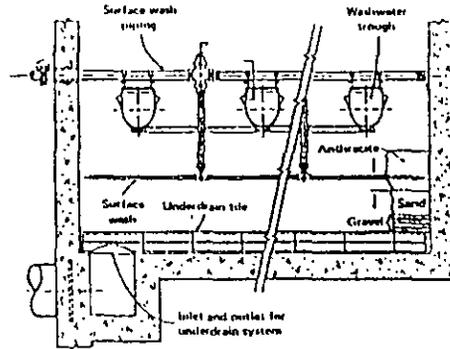
Typical section through filter



Underdrain tile



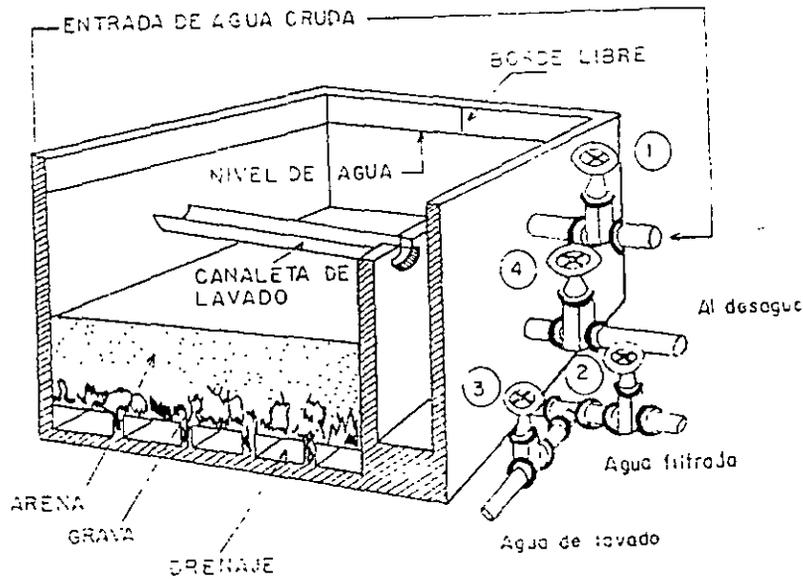
(a)



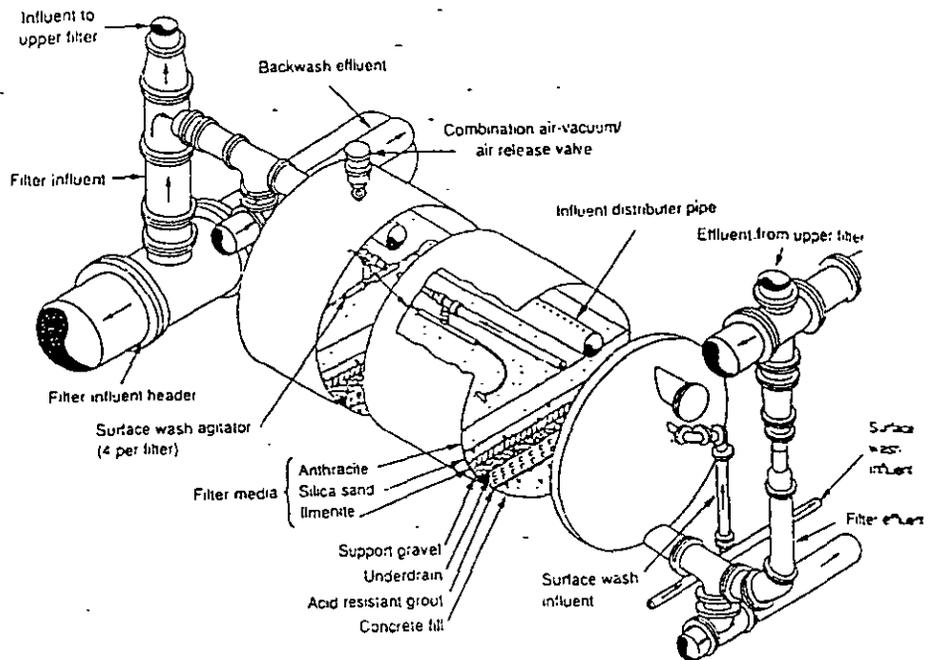
Typical section through filter

(b)

Sistema de subdrenaje típico con capa de grava como soporte (a) y (b); sin soporte de cama de grava (c): (a) sistema de subdrenaje Wheeler y (b) Sistema de subdrenaje Leopold



Representación esquemática del funcionamiento de filtros de flujo descendente por gravedad de medio granular



Filtro a presión típico con cama filtrante multimedia y lavado de la superficie usado en el tratamiento de aguas residuales.

ELIMINACIÓN DE COMPUESTOS TÓXICOS - ADSORCIÓN

Los compuestos refractarios son compuestos resistentes a la degradación biológica en los procesos convencionales de tratamiento de aguas y en el medio ambiente. Los procesos utilizados para eliminar este tipo de compuestos son

Proceso	Aplicación
Adsorción con carbón activado	Eliminación de compuestos orgánicos sintéticos y naturales incluyendo los compuestos orgánicos volátiles, pesticidas, PCB's y metales pesados
Lodos activados adicionados con carbón activado	Metales pesados, amoníaco, compuestos refractarios
Coagulación química	Metales pesados y PCB's
Oxidación química	Amoníaco, compuestos tóxicos, halogenados alifáticos y aromáticos.
Procesos biológicos convencionales	Fenoles, PCB's, hidrocarburos halogenados

El cloro es generalmente utilizado en el proceso de oxidación química. La principal desventaja es que el cloro forma trihalometanos. Otros oxidantes son el ozono y el dióxido de cloro. La ventaja del ozono es que con este compuesto se elimina además el color.

ADSORCIÓN

La adsorción es la colección y concentración selectiva sobre la superficie sólida de moléculas de tipos particulares contenidas en un líquido o en un gas. A través de esta operación unitaria los gases o líquidos de sistemas mezclados, aún a muy bajas concentraciones, pueden ser selectivamente capturados y eliminados de las corrientes gaseosas o líquidas usando una gran variedad de materiales específicos conocidos como adsorbentes. El material que es adsorbido sobre el adsorbente es llamado adsorbato. Existen dos mecanismos involucrados en la adsorción: la adsorción física y la adsorción química.

Tipos de adsorción.

Cuando las moléculas gaseosas o líquidas alcanzan la superficie de un adsorbente y permanecen sin ninguna reacción química, el fenómeno es llamado adsorción física. El mecanismo por el cual se explica la adsorción física puede ser las fuerzas electrostáticas intermoleculares o de Vander Waals, o puede depender en la configuración física del adsorbente como en el caso de la estructura de los poros del carbón activado. Los adsorbentes físicos típicamente cuentan con grandes áreas superficiales.

Actualmente el carbón activado es el adsorbente más ampliamente utilizado. Otros adsorbentes menos importantes son la alúmina activada, la sílica gel y las mallas moleculares. El carbón activado es catalogado como un adsorbente físico no polar. Se produce a partir de una gran cantidad de materiales carbónicos como son la madera, el aserrín, los huesos de frutas, las cáscaras de coco y de nuez, el carbón mineral o hulla, el lignito y los residuos del petróleo. El carbón activado posee una área superficial interna muy grande con una intrincada red de poros. Se han estimado áreas superficiales totales entre 450 y 1800 M²/gramo, pero solamente una parte de esta superficie está disponible para la adsorción. El carbón activado se presenta generalmente en tres tipos: granular o en gránulos naturales, en pellets y en polvo. Los carbones para la fase líquida pueden presentarse en polvo o bajo la forma granular, el primer tipo es mezclado y luego filtrado del líquido mientras que, el carbón granular es empacado en forma de lecho.

Técnicas de tratamiento con carbón activado

El carbón activado se usa comúnmente para eliminar compuestos orgánicos que causan olores, sabores y otros efectos nocivos. El carbón puede utilizarse ya sea en polvo o en gránulos. El carbón granular se coloca en forma de lecho en columnas y el agua a tratar pasa sobre éste. Los sabores, colores y olores debidos a compuestos tales que los fenoles, pesticidas, colorantes orgánicos, surfactantes, etc., son eliminados de las aguas residuales industriales o municipales. El proceso de eliminación continua hasta que el carbón alcanza su saturación, después de lo cual éste debe ser regenerado; la reactivación se hace calentando el carbón hasta 930°C en una corriente de aire atmosférico (reactivación térmica). Esta operación se puede adaptar en una mufla o en un horno rotatorio, los compuestos orgánicos se queman y el carbón así activado restablece básicamente su capacidad inicial de adsorción.

ELIMINACION DE SUSTANCIAS INORGANICAS DISUELTAS

Precipitación química

La eliminación del fósforo del agua residual se puede llevar a cabo por la adición de coagulantes para su precipitación (alúmina, cal, sales de hierro, polímeros orgánicos). Adicionalmente a la eliminación del fósforo estos compuestos químicos puede eliminar otros iones, principalmente, los metales pesados y reduce el contenido de coliformes y de virus.

Cuando se utiliza la precipitación química, la digestión anaerobia de los lodos no es posible debido a la toxicidad del precipitado el cual puede contener metales pesados. La desventaja de la precipitación química es la producción de una cantidad considerable de lodos difícilmente tratables debido a su toxicidad.

Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso unitario mediante el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material de intercambio insoluble por iones de diferentes especies en solución. El uso más generalizado de este proceso es en el ablandamiento del agua potable en donde el ión sodio de una resina catiónica es reemplazado por los iones calcio y magnesio del agua a tratar. Para la eliminación de los sólidos totales se deben utilizar resinas de intercambio iónico, catiónico y aniónico.

Hasta los años de 1940 las zeolitas naturales fueron las resinas de intercambio disponibles. La capacidad de intercambio era relativamente baja, lo cual limitaba su factibilidad económica en el tratamiento de aguas residuales. Posteriormente las zeolitas naturales fueron reemplazadas por resinas sintéticas. Estas últimas son polímeros insolubles sobre los cuales se adicionan grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas. Estos grupos son capaces de un cambio reversible con los iones presentes en una solución.

El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o por unidad de volumen) de la resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad del ión y su posición en el equilibrio de intercambio. Las partículas de las resinas tienen diámetros de aproximadamente 0.5 mm y se emplean en columnas empacadas con flujos de agua residual del orden de 5 a 12 galones por pie² (1/cm²).

Para dar un ejemplo de la variedad de resinas de intercambio iónico se enlistan las siguientes.

1) Inorgánicos naturales:

Zeolitas: $x\text{Na}_2\text{O}$, $y\text{Al}_2\text{O}_3$, $z\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$

Silicoaluminatos hidratados como:

analcita	$\text{Na}[\text{Si}_2\text{AlO}_2]\text{H}_2\text{O}$
characita	$\text{Ca, Na} [\text{SiAlO}_6]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
harmotomita	$(\text{K, Ba}) [\text{Si}_5\text{Al}_2\text{O}_{14}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
heulandita	$\text{Ca}[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_8] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
natrolita	$\text{Na}_2[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
montomorilonita	$\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
beidelita	$\text{Al}_2[(\text{OH})_2\text{AlSi}_{13}\text{O}_9\text{OH}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

2) Inorgánicos sintéticos;

Sodalita	$\text{Na}_4[\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ClO}_{12}]$
Apatita	$[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{F}$
Hidroxiapatita	$[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]\text{OH}$

3) Orgánicos sintéticos;

Estas son estructuras tridimensionales de hidrocarburos entrelazados que contienen grupos ácidos o básicos

De intercambio catiónico:

- Débilmente ácidos (carboxílicos)
- Medianamente ácidos (fosfónicos)
- Fuertemente ácidos (sulfónicos)

De intercambio aniónico:

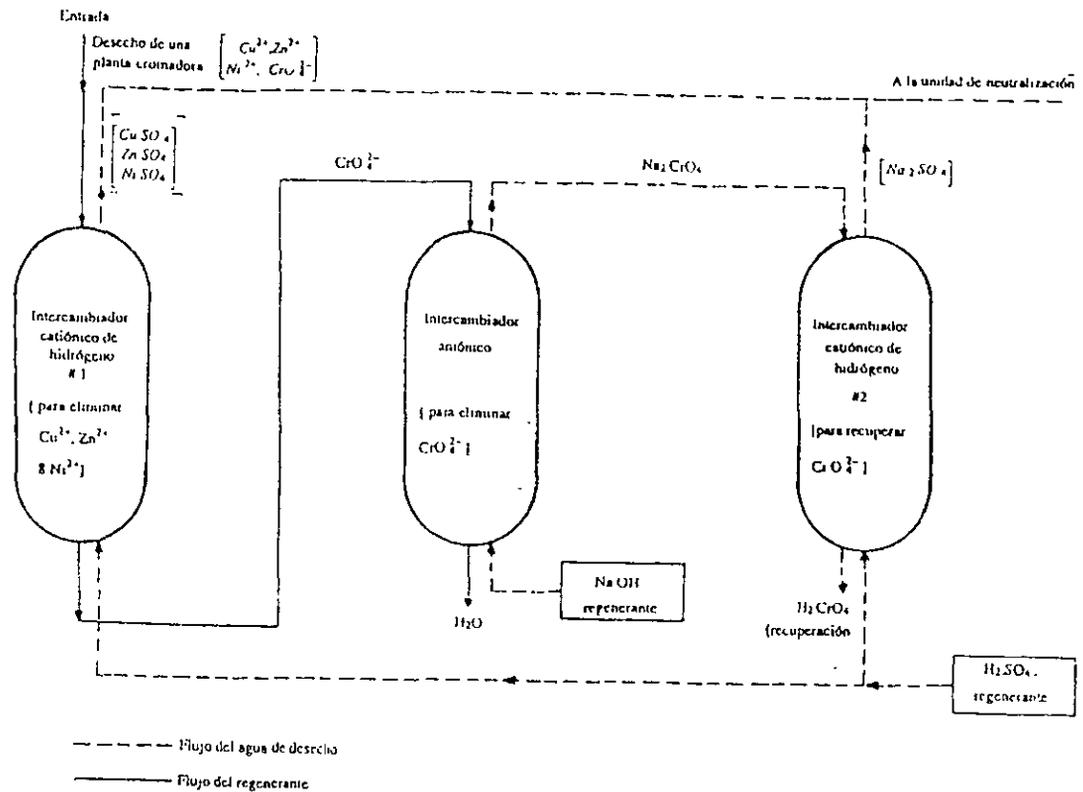
- Débilmente básicas (alkilaminas)
- Fuertemente básicas (base cuaternaria de amonio).

Hay dos tipos básicos de intercambiadores iónicos: catiónicos y aniónicos.

El proceso es el siguiente: primero se pasa el agua residual a través de un intercambiador de cationes donde los iones cargados positivamente son reemplazados por iones hidrógeno. El efluente del intercambiador catiónico es pasado a una resina aniónica donde los aniones son reemplazados por iones hidroxilo. Así, los sólidos disueltos son reemplazados por iones hidrógeno e hidroxilo, los cuales reaccionan para formar moléculas de agua.

Los intercambiadores de iones son generalmente columnas empacadas de flujo descendente. Cuando se satura la capacidad de las resinas, la columna es retrolavada para eliminar los sólidos retenidos y después es regenerada. La columna de intercambio catiónico se regenera con un ácido fuerte como el ácido sulfúrico. El hidróxido de sodio es utilizado para regenerar la columna aniónica.

Diagrama de flujo de un sistema de intercambio iónico



La desmineralización puede llevarse a cabo encolumnas separadas en serie o ambas resinas se pueden mezclar. La tasa de flujo típica utilizada es del orden de 12 a 24 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-h}$ y con profundidades de lecho entre 0.75 a 2.0 m.

No todos los iones disueltos se remueven de igual manera, cada resina está caracterizada por una actividad determinada y algunos iones son eliminados sólo parcialmente. Algunos compuestos orgánicos encontrados en las aguas residuales pueden ligarse disminuyendo la eficiencia de las resinas.

Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es una operación a presión que utiliza membranas porosas para la eliminación de material coloidal y disuelto. Estos sistemas se diferencian de la ósmosis inversa, ya que en este caso se aplican presiones relativamente bajas 150 lb/in^2 (1034 kN/m^2). La ultrafiltración se utiliza para eliminar material coloidal y moléculas grandes con pesos moleculares superiores a 5000. Se aplica para la eliminación de aceite de corrientes acuosas, de turbiedad y color coloidales. También se ha sugerido utilizar UF para la eliminación de fósforo.

Ósmosis inversa.

La ósmosis inversa es un proceso en el cual el agua es separada de las sales disueltas en la solución por filtrado a través de una membrana semipermeable bajo presiones mayores que la presión osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual. Las presiones de operación varían entre la presión atmosférica y 1000 lb/in^2 (6900 KN/m^2).

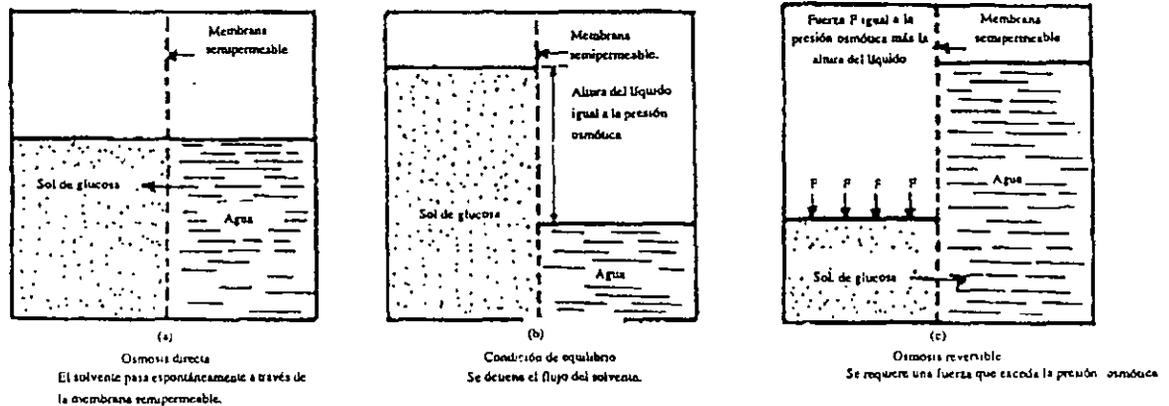
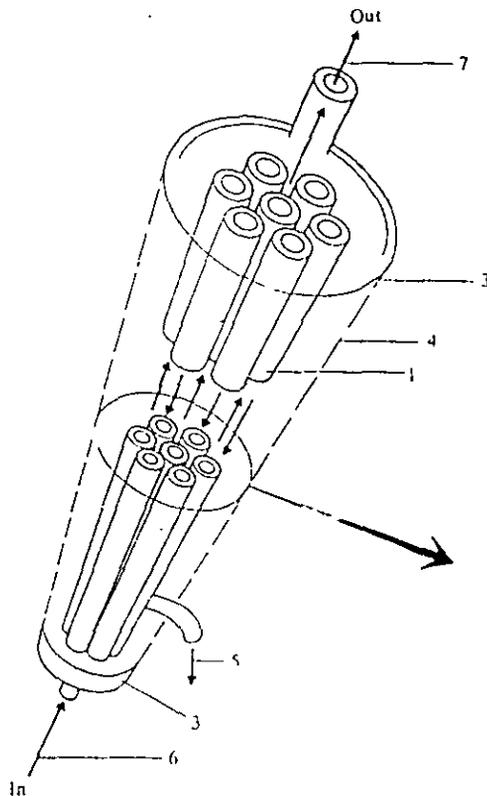


Ilustración del principio de ósmosis

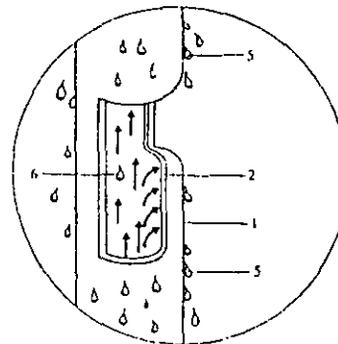
El principio de la ósmosis se ilustra con las figuras. En la figura a, se describe la ósmosis directa, donde el solvente fluye espontáneamente a través de la membrana semipermeable. La figura b ilustra la condición de equilibrio, en este caso el líquido fluye hasta que el flujo del solvente a través de la membrana iguala la presión osmótica y se detiene el flujo. En la figura c, sucede que la fuerza F excede la presión osmótica del compartimiento que contiene el agua contaminada hacia el compartimiento del agua pura, este fenómeno se denomina ósmosis inversa.

En el tratamiento de aguas residuales por ósmosis inversa, el influente contaminado se pone en contacto con una membrana adaptable a una presión que exceda a la presión osmótica de la solución. Bajo estas condiciones, el agua penetra en la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua de desecho. Este concentrado, que corresponde a una pequeña cantidad del volumen total de agua residual a tratar, se desecha. El agua purificada se obtiene en el otro compartimiento.

En la práctica el proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo en un sistema tubular. El flujo de aguas residuales a alta presión pasa a través de un tubo interno hecho de una membrana semipermeable y diseñado para operar a altas presiones. El agua purificada se obtiene en el tubo externo, el cual se encuentra a presión atmosférica y está hecho de material ordinario como se muestra en la figura



- 1 Tubo de fibra de vidrio
- 2 Membrana osmótica
- 3 Fin del accesorio
- 4 Cubierta de PVC, para coleccionar agua producida
- 5 Salida del agua tratada
- 6 Alimentación de la solución
- 7 Efluente



Sistema de ósmosis inversa de configuración tubular

La ósmosis inversa se aplicó inicialmente en la desalinización del agua de mar. Se han hecho muchas investigaciones en plantas piloto sobre el uso de ósmosis reversible para separar ciertos contaminantes del agua residual, algunos de ellos como compuestos de nitrógeno y fósforo, de configuración tubular, cromatos y otros compuestos orgánicos que no se eliminan adecuadamente por otros procesos. En consecuencia el tratamiento convencional se complementa por ósmosis inversa con economía favorable.

Las investigaciones indican que, en principio, la ósmosis inversa se puede usar para obtener un efluente de cualquier grado de pureza deseado mientras que se mantenga una tasa de flujo razonable.

Muchos materiales naturales tienen características semipermeables. Algunas membranas de plantas y animales son buenos ejemplos. Se han empleado materiales como colodión, celofanes, vidrio poroso, vidrio finamente picado, precipitados orgánicos como ferrocianuro de cobre, zinc y fosfato de uranio. Todos ellos tienen defectos, como el permitir fugas, ser de corta duración, tener selectividad y poca reproducibilidad. Las membranas de acetato de celulosa (membranas AC) son las que han dado mejores resultados.

TRATAMIENTO DE LODOS

El lodo residual es un subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Este generalmente contiene de un 93 a un 99.5% de agua, así como sólidos y sustancias disueltas que están presentes en el agua residual y que fueron adicionados o generados por un proceso de tratamiento. Generalmente estos sólidos residuales deben tratarse para su uso o disposición.

Las características del lodo dependen tanto de la composición inicial del agua residual, como de los sistemas usados para el tratamiento del agua residual y el lodo. Diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una planta en particular, las características del lodo producido pueden variar anualmente, estacionalmente o diariamente debido a las variaciones tanto de la composición del agua residual como de los procesos de tratamiento. Esta variación es particularmente grande en sistemas de tratamiento de aguas residuales que reciben una gran cantidad de descargas industriales.

Las características del lodo afectan la viabilidad para las opciones de su uso y disposición. Así, cuando se evalúan las alternativas de uso o disposición, se debe determinar primeramente la cantidad y características del lodo y el rango de variaciones en sus características.

Dependiendo del lugar donde se generan los lodos dentro de la planta de tratamiento se pueden clasificar en: primarios, secundarios y terciarios, como muestra la Fig. 1, en donde se esquematiza la generación de los lodos residuales de acuerdo a la clasificación anterior, los tratamientos más utilizados y los sistemas para su uso y disposición.

Lodos primarios. Son lodos generados durante el tratamiento primario del agua residual, que remueve sólidos que se sedimentan fácilmente.

El lodo primario contiene de 3 a un 7% de sólidos; generalmente este contenido de agua puede ser reducido por deshidratado o desaguado. Este tratamiento es esencialmente de tipo físico.

Lodos secundarios. También llamado "lodo biológicamente procesado" es generado por un tratamiento biológico. En este tratamiento los microorganismos degradan el contenido de materia orgánica que se encuentra suspendida o disuelta en el agua. Al final del proceso se obtienen como productos finales bióxido de carbono y agua. Este proceso incluye los sistemas de lodos activados y sistemas de película fija como los filtros percoladores y biodiscos.

El lodo secundario, debido a su bajo contenido de sólidos (0.5 a 2%) es más difícil de deshidratar que el primario

Lodos terciarios. Es producido por sistemas avanzados de tratamiento, tales como precipitación química o filtración. Las características del lodo terciario dependen de los procesos de tratamiento anteriores. Los lodos químicos resultan de procesos de tratamiento con químicos, tales como cal, polímeros orgánicos y sales de hierro y aluminio. Generalmente la cal y los polímeros ayudan al deshidratado y desaguado, mientras que las sales de hierro y aluminio reducen la capacidad de deshidratado y desaguado por la producción de lodos hidratados con agua ligada

Según sean sus características fisicoquímicas, los lodos residuales pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Orgánico hidrófilo
- Aceitosos
- Mineral hidrófobo
- Mineral hidrófilo
- Fibroso.

La composición de los lodos residuales varía según sea su origen, dependiendo del tipo de efluente industrial o urbano tratado. En la tabla 12.1, se presenta la composición química típica de lodos crudos y digeridos.

Origen y cantidades de lodos generados

El origen de los lodos de una planta de tratamiento varía de acuerdo al tipo de planta y a su método de operación.

En el diseño de un tratamiento de lodos es importante conocer todas las fuentes posibles de lodos en la planta de tratamiento que los genera, con el fin de poder identificar sus características y decidir que tipo de tratamiento sería el más adecuado.

TABLA 12.1 COMPOSICION QUIMICA DE LODOS CRUDOS Y DIGERIDOS

Parámetro	Lodos primarios crudos		Lodos digeridos	
	Rango típico		Rango típico	
Sólidos totales (ST,%)	2.0-7.0	4.0	6.0-12.0	10.0
Sólidos volátiles (%ST)	60-80	65.0	30.60	40.0
Grasas y aceites (soluble en éter % ST)	6.0-30.0	...	5.0-20.0	...
Proteínas (% ST)	20-30	25.0	15-20	18.0
Nitrógeno (N, %ST)	1.5-4.0	2.5	1.6-6.0	3.0
Fósforo (P ² O ⁵ , %ST)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5
Potasio (K ² O % ST)	0.0-1.0	0.4	0.0-3.0	1.0
Celulosa (% ST)	8.0-15.0	10.0	8.0-15.0	10.0
Fierro (no como sulfuro)	2.0-4.0	2.5	3.0-8.0	4.0
Sílice (Si O ² %ST)	15-20	...	10-20	...
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0
Alcalinidad (mg/l CaCO ³)	500-1,500	600	2,500-3,500	3000
Acidos orgánicos (mg/l HAc)	200-2,000	500	100-600	200
Poder calorífico (BTU/lb)	6800-1000	7,600 ^(a)	2,700-6,800	4000 ^(b)

Nota: (a) Basado en 65% materia volátil (b) Basado en 40% materia volátil

Además para el cálculo de la capacidad de las unidades de tratamiento de los lodos, se debe conocer las cantidades que se generan, su fluctuación respecto al tiempo y la capacidad potencial de las unidades de sedimentación y tanques de aereación, en los cuales se puede almacenar temporalmente una cierta cantidad de lodos. Este almacenamiento puede auxiliar en los puntos pico de carga.

En el diseño y elección de los procesos para el tratamiento de los lodos es importante conocer las características fisicoquímicas:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Los lodos de origen primario o secundario se presentan en la forma de un líquido que contiene partículas no homogéneas en suspensión. Su volumen representa del 0.05 al 0.5 del volumen de agua tratada para los lodos frescos, mientras que es ligeramente inferior para los lodos activados y otros procedimientos biológicos. La floculación del agua aumenta el volumen de los lodos, y sobre todo su peso, en aproximadamente un 10%.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición.

Es necesario conocer, para su tratamiento posterior, varios parámetros que definirán su capacidad de deshidratación y filtración, como son:

- a) Contenido de materia seca
Se trata de medir el peso del residuo seco después de su calentamiento a 105. C, hasta peso constante..
- b) Contenido de materia volátil.
Se mide este valor por la diferencia entre el peso del lodo seco (a 105.C) y el del mismo lodo después de que se caliente hasta peso constante a 550. C.
- c) Contenido de agua intersticial.
El agua contenido en el lodo se presenta bajo dos formas:
- Agua libre que se elimina fácilmente por filtración o decantación.
- Agua ligada, contenida en las moléculas químicas, las sustancias coloidales y las células de materia orgánica que no se pueden eliminar sino por el calor.

Se mide la proporción entre el agua ligada y el agua libre por la pérdida de peso a temperatura constante en función del tiempo. Así se obtiene una curva termogravimétrica que suministra la velocidad de evaporación en función de la sequedad del lodo.
- d) Carga específica.
Este parámetro permite medir la capacidad de decantación de los lodos, se expresa en Kg/m²/d; es la cantidad de materia seca decantada por unidad de superficie. Esta carga depende del contenido de materias volátiles
- e) Resistencia específica
Se trata de medir la capacidad de filtración de los lodos bajo una presión dada

- f) **Compresibilidad.**
 Cuando se incrementa la presión en la parte superior de un filtro, se obtiene un aplastamiento de la torta y un aumento de la resistencia a la filtración.
- Cuando la presión aumenta y alcanza valores del orden de 10 lbs, la filtración del agua contenida en el lodo está prácticamente bloqueada; entonces se llega a la sequedad límite.
- g) **Poder calórico.**
 El contenido de materia orgánica de los lodos les proporciona a éstos una capacidad de combustión que no es despreciable, lo que permite su incineración. Se definen dos poderes caloríficos:
- El poder calorífico inferior PCI, que es la cantidad de calor desprendida en la combustión completa de un kilo de lodos.
 - El poder calorífico superior PCS, que es la cantidad de calor desprendida en la combustión completa de un kilo de lodos, suponiendo que toda el agua que se desprende en la combustión se encuentra en estado condensado en los productos de combustión.
- h) **Propiedades reológicas.**
 El conocimiento de ésta característica es muy importante para el bombeo, tuberías y transporte de los lodos.
- Los lodos tienen la propiedad de solidificarse en ausencia de agitación y transformarse en líquidos aplicando una ligera agitación, a esta propiedad se le llama tixotropía.
- i) **Tipo de agua contenida en los lodos.**
 El agua en los lodos está formada por agua libre (fácilmente eliminable) y agua de enlace.
 La cantidad de agua en los lodos (libre y de enlace) es determinante en su capacidad de deshidratación
- j) **Características de sedimentación.**
 La velocidad de sedimentación de los lodos depende de su concentración en sólidos.
- k) **Características para la deshidratación.**
 Los procesos empleados para la deshidratación dependen de la concentración del lodo, grado de agregación, características estructurales de las partículas, viscosidad, fuerza iónica y pH del agua.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

En los lodos se pueden encontrar las siguientes características:

- a) **Materia orgánica**
 Generalmente de origen animal (grasas, aceites, etc) o vegetal (fibras, almidones, etc). Se encuentran también microorganismos y sus productos de desecho.
- b) **Elementos nutrientes.**
 Se trata del contenido de nitrógeno total, fósforo y potasio. Son sustancias que

favorecen el crecimiento de las plantas y que tienen por consiguiente mucha importancia para la utilización agrícola de los lodos.

Los lodos de origen industrial y en menor grado los de origen municipal pueden presentar algunos de los siguientes compuestos:

- c) **Microcontaminantes orgánicos**
Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura. Se trata generalmente de productos químicos de síntesis que se utilizan comúnmente y que se encuentran en las aguas domésticas de desecho. Se hallan particularmente contenidos importantes de detergentes y medicinas.
- d) **Tóxicos orgánicos**
Muchos lodos provenientes de aguas residuales industriales presentan concentraciones de tóxicos orgánicos, tales como los PCB's (bifenilos policlorinados), hidrocarburos aromáticos polinucleares y plaguicidas.
- e) **Metales pesados**
Muchos lodos residuales contienen grandes cantidades de metales pesados que reducen su valor como fertilizantes, ya que pueden acumularse en los tejidos de las plantas y representan un riesgo para la salud pública. Por citar algunos: Cd, Zn, Cu, Pb, As, Se, Hg, Co, Cr, Mn, Ni, Fe, V y Mo.

Las características más importantes de los lodos son:

- f) - Sólidos Totales (ST)
- g) - Sólidos Volátiles (SV), llamados también materia volátil (MV)
- h) - Materia orgánica (mg/l)
- i) - Nitrógeno y Fósforo
- j) - Composición química en general

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

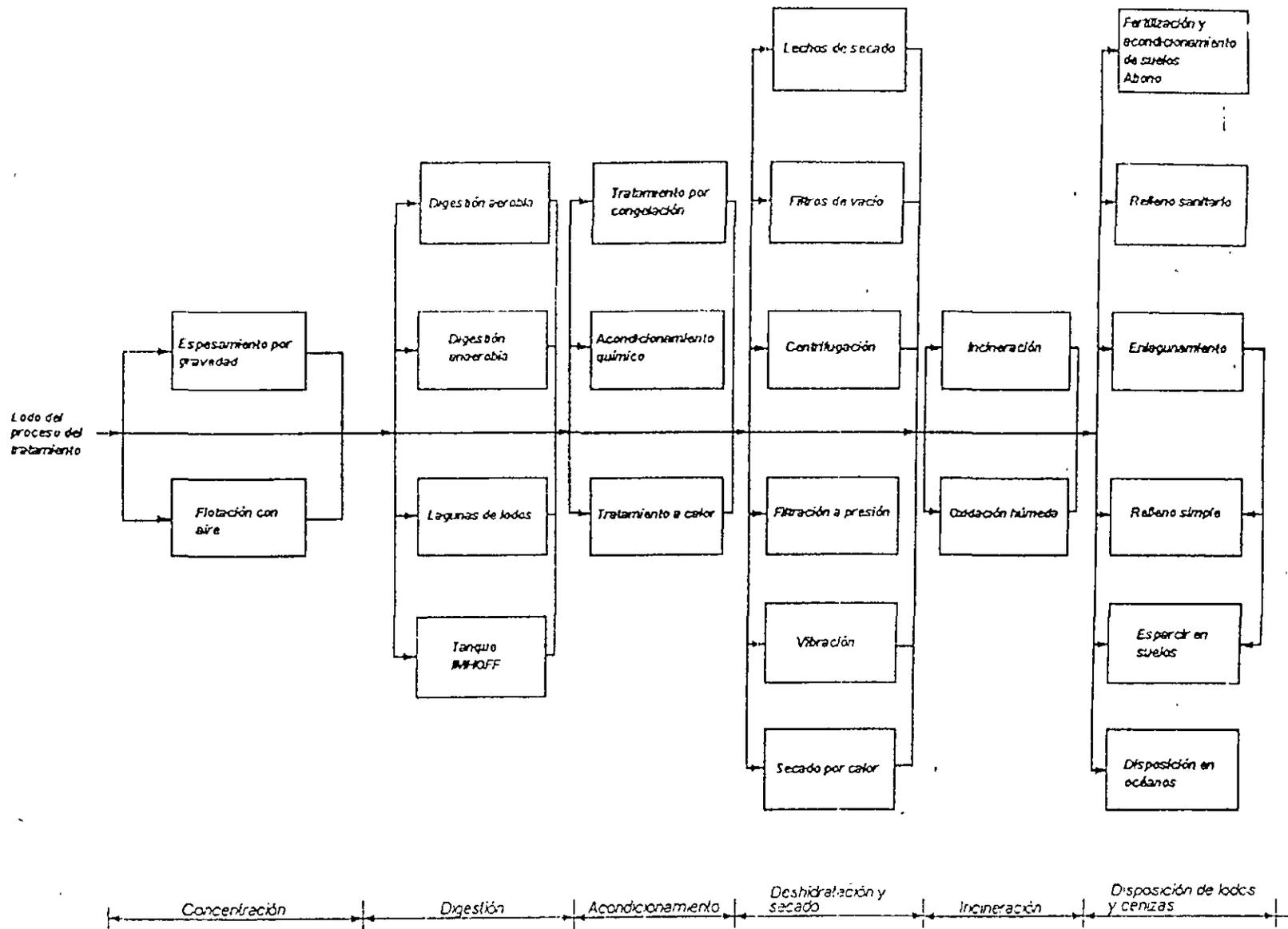
Las aguas residuales contienen una flora y una fauna variadas que se encuentran en parte de los lodos. El tratamiento biológico de las aguas residuales modifica la composición biológica por la multiplicación de ciertas especies en detrimento de otras.

Los microorganismos patógenos se encuentran generalmente en los lodos y en los efluentes; por lo tanto, es preciso tener cuidado de eliminarlos en ambos casos.

Los principales patógenos encontrados en lodos residuales pueden ser divididos en cuatro grupos: bacterias, protozoos, helmintos y virus. Los procesos de tratamiento reducen el número de los organismos mencionados, pero no en su totalidad.

- a) **Bacterias**
Se cuentan numerosos tipos de bacterias en los lodos; una parte de ellas es de origen fecal y algunas provienen de portadores de gérmenes y por consiguiente pueden ser patógenos.

- b) Virus: Se encuentran los causantes de poliomielitis y hepatitis infecciosa entre otros.
- c) Parásitos. Se encuentran numerosos parásitos en los lodos de origen fecal. Su eliminación es mucho más difícil puesto que estos parásitos toman una forma vegetativa cuando las condiciones les son hostiles, mientras que se desarrollan cuando se encuentran en los animales o en el hombre.
- d) Hongos
Se trata esencialmente de las levaduras y los saprófitos que están normalmente presentes en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales o el hombre, con excepción de algunos que pueden llegar a serlo cuando las condiciones son favorables.
- e) Algas
No se encuentran en gran cantidad en los lodos primarios y secundarios; por el contrario, en las lagunas naturales, gran parte de los lodos están constituidos por detritus de algas.
- f) La macrofauna (gusanos, larvas de insectos)



Procesos de tratamiento y disposición de lodos residuales

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

Debido a sus características y composición, los lodos residuales tal como salen de los procesos, no pueden ser depositados directamente al medio ambiente, ya que ocasionarían problemas de olores y contaminación del lugar debido a las altas concentraciones de los contaminantes químicos (mayor que en las aguas residuales originales) y a la materia orgánica separada por los procesos biológicos que no se encuentran totalmente degradada en compuestos estables, produciendo olores desagradables. Además, la consistencia de los lodos hace que sean problemáticos para su transportación y disposición final. Por tales motivos, es necesario el tratamiento de los lodos residuales para la estabilización de la materia orgánica y eliminar la mayor cantidad de agua posible para poderlos transportar y depositarlos en lugares autorizados, en condiciones adecuadas para no contaminar el medio ambiente.

El tratamiento de los lodos está enfocado a la reducción de su contenido de agua y la estabilización de su materia orgánica.

En general los procesos empleados en el tratamiento de los lodos son los siguientes:

- Espesamiento (Concentración)
- Elutriación
- Digestión (Estabilización) anaerobia
- Digestión (Estabilización) aerobia
- Acondicionamiento
- Deshidratación
- Secado
- Incineración y oxidación húmeda
- Disposición final.

La digestión, incineración y la oxidación húmeda son utilizados principalmente para el tratamiento de la materia orgánica en los lodos.

Los procesos de concentración, deshidratación y secado son usados principalmente para remover el agua de los lodos. En la figura 12.1 se muestra un diagrama de flujo de los principales procesos de tratamiento y sus interrelaciones.

En la práctica, la elección del tipo de tratamiento que se debe aplicar al lodo problema, depende de sus características naturales, estructura, composición y su comportamiento ante la deshidratación.

Espesamiento de los lodos

El espesamiento o concentración de los lodos es la primera operación que se lleva a cabo en el tratamiento, con el fin de reducir su volumen y además hacerlos más accesibles para su transporte y manejo en las posteriores operaciones a las que son sometidos.

Las ventajas que se tienen con el espesamiento de los lodos son:

- Mejora la operación de digestión y reduce sus costos.
- Aumenta la economía de los sistemas de deshidratación de los lodos (centrifugación, filtración al vacío, filtros-prensa, etc).
- Se reduce el volumen de los equipos de acondicionamiento.
- Facilita el manejo y transportación de los lodos.

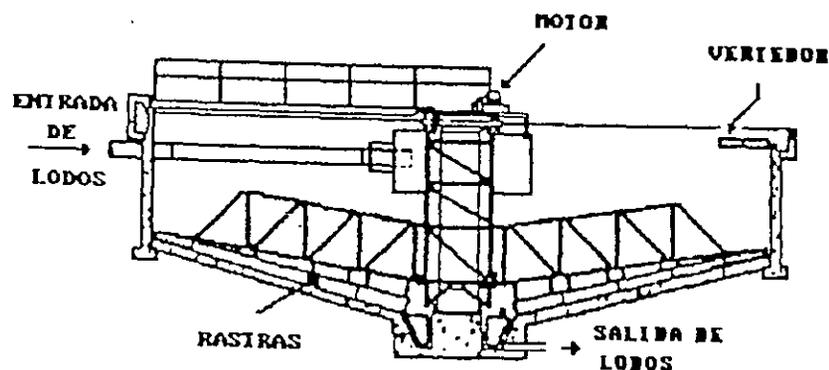
Las desventajas del espesamiento son la inversión suplementaria y en el caso de lodos orgánicos, la producción de olores indeseables. Los olores pueden eliminarse mediante un encalado previo, el cual, además es efectivo para el oreado directo de los lodos crudos o durante el período de arranque de los digestores anaerobios.

El espesamiento de los lodos se puede realizar mediante agitación durante un tiempo suficiente para formar agregados que se sedimenten más fácilmente con un contenido menor de agua. Así tenemos por ejemplo, el espesamiento de los lodos activados de 3 a 6 veces su volumen mediante su agitación durante 8-12 horas, agregándosele, si es necesario cloro para evitar su descomposición.

En forma general podemos decir que el espesamiento de los lodos se realiza principalmente mediante espesadores por sedimentación o por flotación.

Comúnmente se concentra el volumen de lodos mediante espesadores. La carga hidráulica en éstos, no deben exceder de $0,75 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ni tampoco de una carga específica de $50 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

El lodo que llega a los espesadores puede ser de los tipos: primario, secundario o, más usualmente, lodos mixtos de primario y secundario. Todos ellos proceden de purgas de decantadores y llegan mediante bombeo a los espesadores.



Espesador cilíndrico de lodos (sedimentador):

Una de las variantes de los espesadores es la elutriación, la cual consiste en un lavado del lodo con agua depurada para mejorar alguna de sus condiciones fisicoquímicas. La alcalinidad y la extracción de compuestos amoniacales son algunas de sus principales aplicaciones. La elutriación se realiza en una o varias fases, siendo normalmente efectuada en dos.

Es necesario advertir que el espesamiento precede siempre a la digestión con el fin de ahorrar volumen en la misma. Por el contrario, la elutriación se realiza antes del acondicionamiento químico y después de la digestión.

Los elutriadores son iguales que los espesadores, con la diferencia de que se añade al lodo a la entrada del tanque una cantidad considerable de agua. La concentración de los lodos por elutriación es comparable con la obtenida por espesamiento. El efluente está, generalmente cargado de materias finas y coloidales, las cuales una vez recirculadas son reabsorbidas por los lodos floculados (biológicos o químicos).

La elutriación separa de los lodos, por lavado, sustancias que interfieren física o económicamente en el acondicionamiento químico y la filtración por vacío. Por ejemplo, la reducción de la alcalinidad de los lodos digeridos y con ella la de las cantidades de productos químicos que es necesario agregar antes de la filtración; también elimina materias finas y coloidales, con lo cual acelera el espesamiento de los lodos e incrementa la eficiencia de los sistemas de secado mecánico (filtros al vacío, filtro-prensa, centrifugado, etc.)

En el caso de lodos muy fermentados, la elutriación con agua depurada aireada reduce las posibilidades de su descomposición anaerobia.

La elutriación de los lodos se lleva a cabo en tanques sencillos o múltiples mediante lavados sencillos o repetidos, utilizándose si se desea, el agua de lavado en forma seriada. Durante el lavado, los sólidos se mantienen en suspensión por agitación mecánica o con aceite. El uso en serie del agua de lavado se llama elutriación a contracorriente. El agua de lavado se trata o evacua junto con el licor de los digestores y filtros.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia de los lodos es un proceso que tiene como finalidad la estabilización de la materia orgánica que contengan.

En términos generales, el tratamiento consiste en depositar los lodos en digestores cerrados que impidan el paso de aire para tener condiciones anaerobias, con la finalidad de descomponer la materia orgánica por medio de microorganismos anaerobios. La velocidad de descomposición, depende de una inoculación adecuada, el pH, tipo de sólidos, temperatura y un mezclado adecuado de los sólidos crudos con el inóculo. Los lodos digeridos, posteriormente pueden ser secados e incinerados o usados como fertilizante.

El proceso se lleva a cabo por dos grupos de microorganismos: (Fig. 12.4)

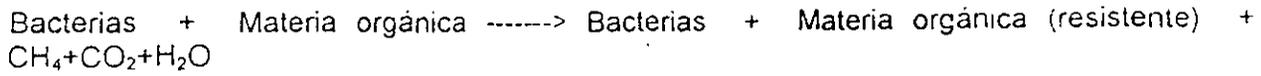
- Bacterias hidrolíticas.

Son microorganismos saprófitos, aerobios facultativos, que metabolizan los carbohidratos, grasas y proteínas convirtiéndolos en ácidos orgánicos (ácido acético, butírico) y alcoholes de bajo peso molecular.

- Bacterias metanogénicas.

Son microorganismos anaerobios estrictos, utilizan los ácidos orgánicos y alcoholes de bajo peso molecular (producidos por las bacterias hidrolíticas)

La estabilización de los lodos por vía anaerobia se puede resumir de la siguiente forma.



La eficiencia del tratamiento anaerobio depende del balance entre los dos grupos de bacterias, la alimentación al sistema, la temperatura, el pH y el tipo de materia orgánica suministrada.

Los factores más importantes que se controlan en los procesos anaerobios son producción de gas (cantidad y composición), balance de los sólidos en el sistema (totales, volátiles y fijos), DBO, acidez y pH, ácidos volátiles, grasas, características del lodo y olor.

La digestión anaerobia es inhibida por sustancias tóxicas tales como, metales pesados (cobre, níquel, zinc, cromo), exceso de iones NH_4^+ , sulfuros, cianuros, fenoles, concentración alta de detergentes.

El grado de reducción de los sólidos volátiles depende de la concentración de materia volátil en el lodo crudo.

En el proceso, el gas (Biogas) producido está compuesto principalmente de metano (65-70% Vol.) y gas carbónico (25-30% Vol.), conteniendo además en proporciones ínfimas oxígeno (0-03%), monóxido de carbono (2-4%), nitrógeno (1%), sulfuro de hidrógeno, hidrocarburos, etc., dependiendo del origen de lodo.

En los lodos digeridos, la mayor parte de los microorganismos patógenos ha sido destruida, sin embargo, se discute la destrucción de ciertos virus y del bacilo de Koch.

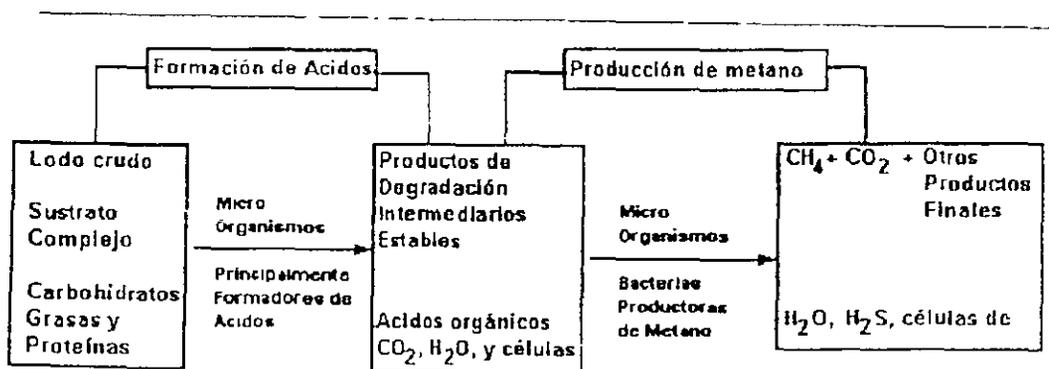


Diagrama simplificado de los procesos y transformaciones que se llevan a cabo durante la digestión anaerobia de lodos

Tipos de digestores anaerobios

Existen dos tipos de sistemas de digestión anaeróbica de lodos:

1. Digestión convencional y 2. Digestión de alta tasa. Los primeros pueden ser de una etapa (paso) ó de dos etapas (pasos)

Digestores de una etapa o paso.

Estos sistemas constan de un sólo digestor, en donde se lleva a cabo la digestión del lodo crudo y la concentración de los lodos digeridos.

El proceso de digestión se mantiene a temperaturas entre el rango de 85-115° F por medio de calentadores externos, el gas metano puede ser utilizado como combustible para mantener la temperatura en el digestor. Los tiempos de retención en este tipo de digestores son relativamente altos: entre 30 y 50 días.

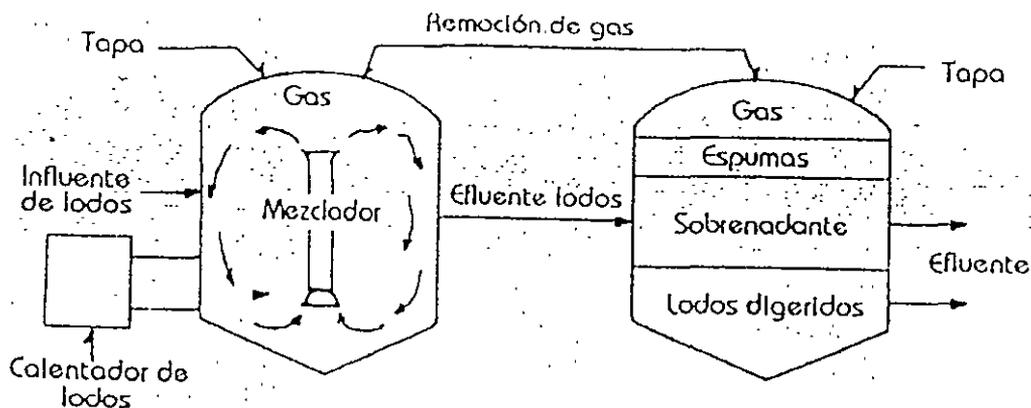
La digestión, el espesamiento y la formación de material flotante se llevan a cabo separadamente dentro del tanque. Operacionalmente, el lodo crudo se alimenta en la zona de digestión activa y el gas producido se remueve del tanque por la parte superior. Mientras el gas sube a la superficie, éste eleva consigo partículas de lodos y otros materiales, tales como grasas y aceites, formando una capa de natas. Como resultado de la digestión, el lodo se mineraliza (aumentando el porcentaje de lodos fijos), y por gravedad éste se espesa; lo que causa la formación de una capa de material flotante sobre la zona de digestión de lodo. El volumen del tanque se utiliza únicamente a un 50% debido a la estratificación y falta de mezcla. Por lo anterior, la digestión convencional se lleva a cabo en un proceso de dos pasos.

Digestores de dos etapas o pasos.

Este tipo de sistema tiene como finalidad el proveer un mayor volumen útil, para disminuir los tiempos de retención. Esta formado por dos etapas, en la primera se lleva a cabo la digestión con mezclado mecánico o por recirculación de gas y a temperaturas controladas por calentamiento, con un tiempo de retención entre 10-15 días; en la segunda etapa sólo se lleva a cabo la separación de los sólidos, el acabado del proceso de digestión y la remoción del gas.

Digestores de alta tasa.

Este difiere del proceso anterior en que la carga de sólidos es mayor. El lodo se mezcla íntimamente por la recirculación del gas, bombeo, o por mezcladores mecánicos y se calienta para obtener una digestión óptima. El equipo de mezcla, en este proceso debe tener mayor capacidad, que el proceso anterior, y debe de llegar hasta el fondo del tanque. El tanque es más profundo. El lodo deberá bombearse continuamente o en ciclos de 30 minutos a 2 horas. El lodo digerido tiene una concentración de aproximadamente la mitad de la del influente, ya que no existe una separación del lodo



Esquema de un proceso de digestión en dos pasos

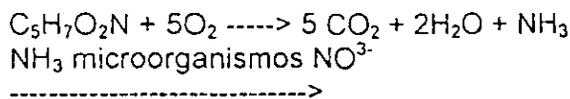
Digestión aerobia

El proceso de la digestión aeróbica es un método alterno para el tratamiento de lodos orgánicos. Los digestores pueden ser usados para tratar solamente lodos activados, mezclas de desechos de lodos activados, lodos primarios y lodos de filtros percoladores, o lodos de plantas de tratamiento de lodos activados sin sedimentación primaria. Las ventajas de la digestión aeróbica, comparada con la digestión anaeróbica son: (1) la reducción de sólidos volátiles es aproximadamente la misma que la obtenida anaeróbicamente, (2) menores concentraciones de DBO en el licor sobrenadante, (3) obtención de un producto final biológicamente estable y sin-olor que puede ser de fácil disposición, (4) producción de un lodo con excelentes características de desaguado, (5) recuperación de casi todo el valor básico de fertilización en el lodo, (6) muy pocos problemas de operación, (7) menor costo de capital. La principal desventaja del proceso parece ser el alto costo del suministro de oxígeno. Entre los principales objetivos de la digestión aeróbica se incluyen la reducción de olores, reducción de sólidos biodegradables y el mejoramiento de las características de desaguado de los lodos. El oxígeno puede ser suministrado con aereadores superficiales o con difusores

La digestión aerobia de los lodos (primarios y lodos activados) es un proceso en el cual la estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo por aereación durante un extenso período de tiempo, dando como resultado de una destrucción celular con una disminución de los sólidos suspendidos volátiles (SSV). La velocidad de destrucción celular disminuye cuando la relación de alimento microorganismo (F/M) aumenta (F=DBO, M=SSV).

El principal objetivo de este tratamiento es la reducción del volumen de los lodos para su disposición final. Esta reducción resulta de la conversión por oxidación de parte de las sustancias del lodo en productos volátiles ($\text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{H}_2$).

Si representamos la materia celular por $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$, su oxidación puede ser representada por la siguiente ecuación:



Los tiempos de residencia en los procesos aerobios son más cortos que los requeridos por los anaerobios. Esto repercute en una economía en los volúmenes de los digestores, sin embargo, los costos originados por la energía necesaria para la aereación pueden ser un factor importante en la elección del sistema de tratamiento en plantas con grandes flujos de lodos.

Los lodos estabilizados aeróbicamente, no desprenden olores, son homogéneos de color obscuro, y pueden drenarse fácilmente sin dificultad. Sin embargo no es recomendable almacenarlos por mucho tiempo en forma líquida.

Generalmente, la estabilización aeróbica se aplica a los lodos residuales de procesos aerobios de aguas residuales.

Descripción del proceso.

La digestión aeróbica es similar al proceso de lodos activados. Conforme la comida disponible se termina, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener la energía para el mantenimiento de las células. Cuando esto ocurre se dice que los microorganismos se encuentran en la fase endógena. Las células de los tejidos son oxidadas aeróbicamente a dióxido de carbono, agua, y amoníaco. Solamente, del 75 al 80% de las células de los tejidos pueden ser oxidadas; el remanente 20 a 25%, está formado de componentes inertes y orgánicas que no son biodegradables. Conforme la digestión continúa, el amoníaco es subsecuentemente oxidado a nitratos. Cuando se digieren aeróbicamente lodos activados o lodos de filtros percoladores mezclados con lodos primarios, toma lugar una oxidación directa de la materia orgánica en el lodo primario y también, una oxidación endógena

Eficiencias del proceso

La eficiencia del proceso varía de acuerdo a la edad del lodo y sus características. Los porcentajes típicos de remoción de contaminantes son los siguientes:

- * Sólidos volátiles : 30 - 70% (35-45% típico)
- * Patógenos : arriba del 85%

Otras características

Impacto Ambiental: El sobrenadante tiene que ser regresado al influente de la planta, el cual tiene una carga orgánica muy alta. La estabilización de los lodos reduce el impacto adverso de disposición de lodos en terrenos. El proceso tiene requerimientos altos de energía. Se puede requerir el control de olores.

Confiabilidad del proceso. El proceso es menos sensible a factores ambientales en comparación con el proceso de digestión anaeróbica. Requiere de menos control de laboratorio y mantenimiento diario. Es relativamente resistente a variaciones en la carga, pH e interferencia de metales. A bajas temperaturas, el sistema requiere de mayores tiempos de retención para adquirir un nivel fijo de reducción de sólidos volátiles; sin embargo, la pérdida del buen funcionamiento no necesariamente causa un producto oloroso. Se puede obtener un lodo más fácil de desaguar si se mantiene un nivel de OD de 1 a 2 mg/l, con tiempos de retención adecuados (con excepción en filtros al vacío).

Limitaciones: El proceso tiene un costo de operación muy alto (principalmente en el abastecimiento de oxígeno). El tiempo requerido para la estabilización es altamente sensible a la temperatura, y la estabilización aeróbica puede requerir de periodos excesivos en climas fríos, incrementando aún más su costo de operación,

ACONDICIONAMIENTO DE LOS LODOS

Los lodos tienen un gran contenido de agua. un 95%, si la materia seca es en su mayor parte orgánica y 70-80% si es mineral. La eliminación de esta agua presenta problemas debido a las propiedades físicas del lodo, por lo cual es necesario realizar un tratamiento previo para poder deshidratarlo con mayor facilidad. Este tratamiento se le ha denominado acondicionamiento de los lodos y tiene la finalidad de alterar las propiedades físicas de los lodos por métodos fisicoquímicos, convirtiendo la masa gelatinosa y amarga del lodo en un material poroso que podrá liberar fácilmente el agua que contenga. Los métodos de acondicionamiento empleados son: químico, térmico, congelación y carga.

Para evaluar la eficiencia de los métodos de acondicionamiento, deben tomarse en cuenta los siguientes parámetros: resistencia específica, coeficiente de comprensibilidad, rendimiento, velocidad ascensional y velocidad de sedimentación, según el proceso de deshidratación o espesamiento que se utilice.

Acondicionamiento químico

El acondicionamiento químico de los lodos se realiza por medio de la utilización de productos químicos coagulantes, para propiciar la coagulación-floculación de los sólidos dispersos en los lodos, con lo cual la velocidad de remoción del agua por filtración o secado al aire aumenta.

Los reactivos químicos utilizados pueden ser orgánicos o minerales. En la tabla siguiente se enlistan algunos productos químicos acondicionantes.

Productos químicos acondicionantes de lodos de aguas residuales

Compuesto químico	Fórmula	Peso molecular
Cloruro férrico	FeCl ₃	162.2
Clorosulfato férrico	Fe(SO ₄) ₂ Cl	187.4
Sulfato Férrico	Fe(SO ₄) ₃	399.9
Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	666.4
Cal	CaO	56.1
Polímeros	Orgánicos	...

DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS PARA VARIOS TIPOS DE LODOS (Datos en % de lodo seco)

TIPOS DE LODO	FRESCO		DIGERIDO		ELUTRIADO DIGERIDO
	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃
Primario	1-2	6-8	1,5-3,5	6-10	2-4
Primario y filtro biológico	2-3	6-8	1,5-3,5	6-10	2-4
Primario y activo	1,5-2,5	7-9	1,5-4	6-12	2-4
Activo	4-6				

El acondicionamiento añadiendo compuestos inorgánicos se emplea generalmente cuando se desea deshidratar lodos crudos o digeridos en filtros prensa o al vacío. Normalmente se utiliza una mezcla de cal y sales de hierro o aluminio (sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico o sulfato de aluminio), las cuales producen iones cargados positivamente que reaccionan con los iones negativos en el lodo, neutralizándolos y permitiendo la formación de agregados más grandes que sedimentan fácilmente y pueden ser rápidamente deshidratados. El cloruro férrico reacciona con los bicarbonatos del lodo produciendo hidróxidos que actúan como floculantes. La cal tiene un ligero efecto deshidratante, pero su principal propósito es elevar el pH para reducir malos olores.

Los polielectrolitos son compuestos orgánicos de cadenas largas y altos pesos moleculares, tal como son los derivados del almidón, la celulosa, materiales proteínicos y muchos otros que se producen en forma sintética. A lo largo de sus cadenas tienen grupos cargados positiva o negativamente (polielectrolitos catiónicos y aniónicos respectivamente). Estos compuestos se usan en el acondicionamiento de lodos para absorber agua de la superficie de las partículas sólidas, neutralizar cargas y para actuar como un puente entre partículas, facilitando así su aglomeración. Su uso ha hecho posible la introducción de dos métodos de deshidratación: centrifugación y deshidratación con filtros bandas (Cornier et al, 1983).

El ácido sulfúrico y la cal sólo se emplean para fijar el pH ideal para la floculación que puede variar en cada caso

El sulfato férrico comercial se usa también en algunas ocasiones en vez del cloruro férrico y su dosificación es, aproximadamente, 16 veces superior a la de éste.

El sulfato de aluminio igualmente se emplea, sobre todo, en procesos de elutriación de lodos. La fragilidad de los floculos producidos hace que éstos se tengan que manejar con cuidado.

Resumiendo puede decirse que el uso de un reactivo u otro depende del costo de los productos en el punto de aplicación, del valor del equipo de dosificación y del rendimiento que se quiera obtener del secado mecánico posterior.

La dosificación de estos reactivos se debe efectuar de forma que se consiga una mezcla perfecta con el lodo y un determinado tiempo de contacto antes del secado posterior

DESHIDRATACIÓN DE LOS LODOS:

El objetivo principal de la deshidratación es eliminar tanta agua del lodo como sea posible para producir un material no fluido, cuya concentración de sólidos sea significativamente más alta que en un lodo espesado. El proceso adecuado se selecciona principalmente por los requisitos de las etapas subsecuentes de tratamiento o de la disposición final.

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

La deshidratación de los lodos se hace con la finalidad de:

- Adecuar para su disposición final como relleno sanitario
- Reducir los costos de transporte.
- Aumentar su potencial calorífico

La deshidratación de lodos se puede llevar a cabo por medios mecánicos o por métodos en los cuales el movimiento del agua es controlado por fuerzas naturales.

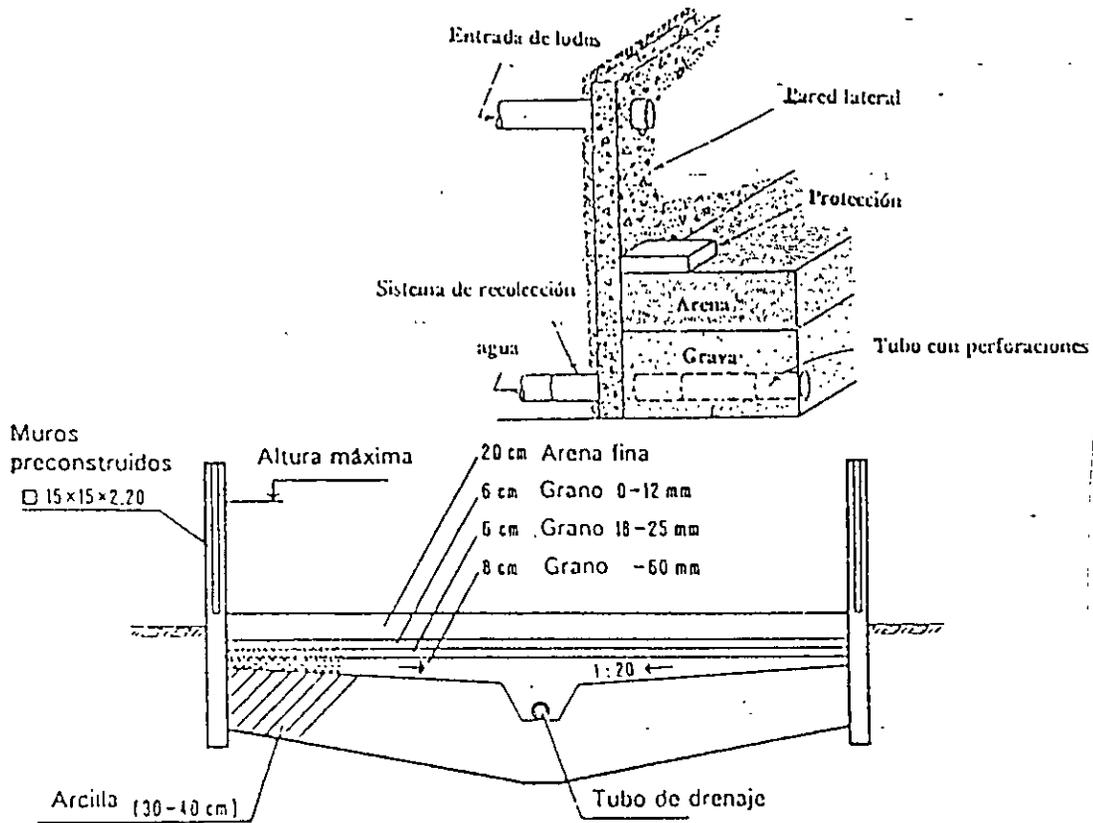
La filtración es una operación unitaria en la que los sólidos se apartan físicamente de una corriente líquida al hacerla pasar a través de un lecho o medio poroso. En los diferentes sistemas de filtración se aplica una fuerza, ya sea vacío, presión o gravedad o fuerza centrífuga, para hacer pasar solamente el agua a través del medio filtrante.

Los procesos mecánicos más utilizados para la deshidratación de lodos incluyen filtración al vacío, centrifugación, filtros prensa y filtros de bandas horizontales. Estos procesos se recomiendan cuando no se dispone de terreno suficiente o se tienen condiciones ambientales adversas.

Los métodos no mecánicos se basan en la filtración y evaporación del agua. Son sistemas menos complejos y más fáciles de operar que los sistemas mecánicos; consumen menos energía pero requieren mayores extensiones de terreno y más trabajo de operación, principalmente para levantar la torta de lodo. Se recomiendan únicamente cuando se trata de pequeños caudales de aguas residuales. Entre estos procesos se encuentran los lechos de secado y las lagunas de lodos.

Lechos de Secado

Los lechos de secado, principalmente lechos de arena, son el sistema más común y antiguo de los métodos no mecánicos para la deshidratación de lodos. El proceso se lleva a cabo permitiendo el drenado del agua por gravedad y su evaporación hasta alcanzar la concentración de sólidos deseada. La figura muestra cortes constructivos de lechos de arena. Las paredes laterales pueden construirse de concreto reforzado o mampostería. Se recomienda una profundidad mínima de arena entre 25 y 30 cm., aunque en algunos casos se puede elevar a 45 cm para prolongar la vida del lecho (EPA, 1987).



Corte constructivo y granulometría de los lechos de arena

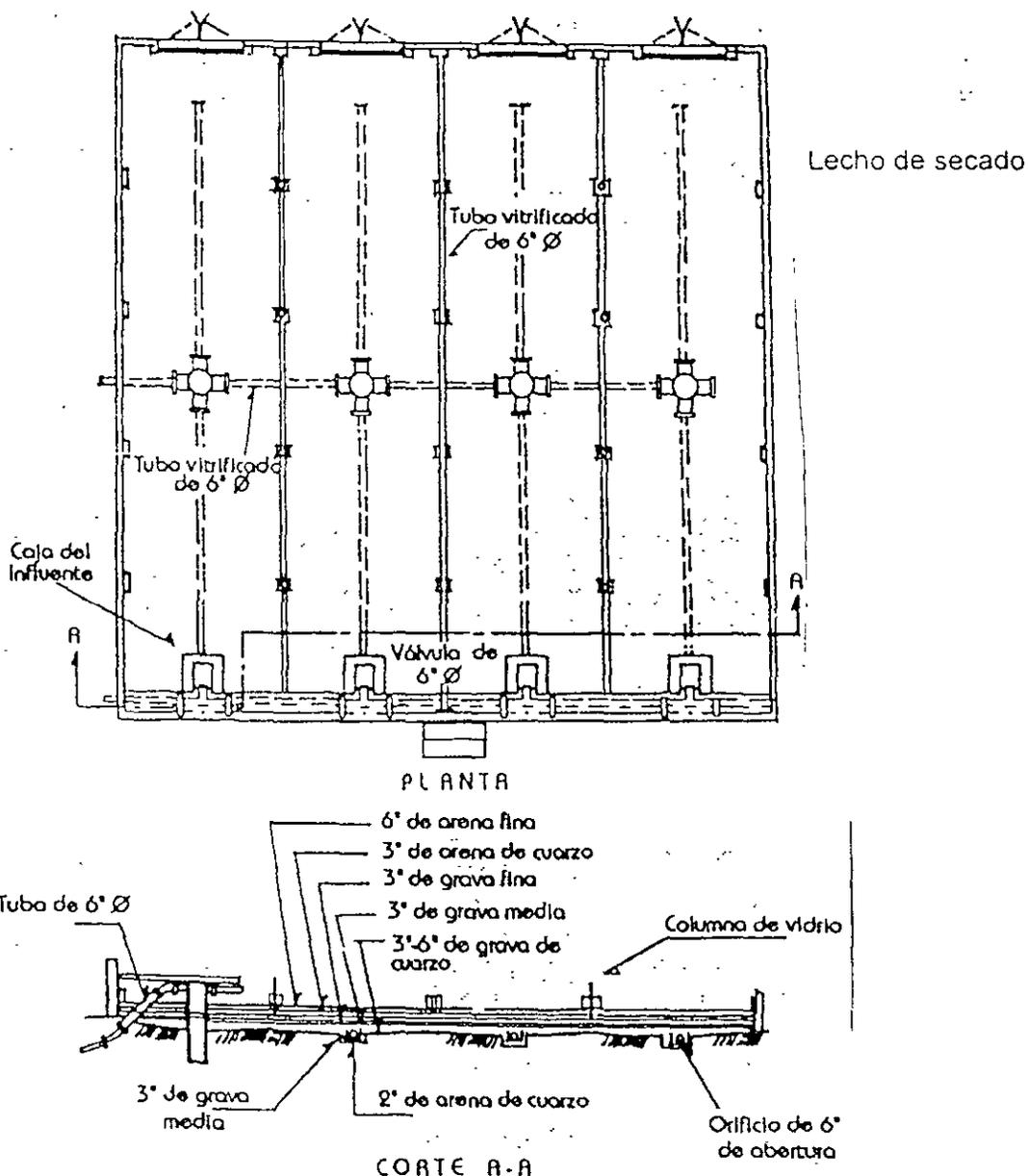
Los lechos de secado se usan para la deshidratación de lodos digeridos. El lodo es colocado sobre los lechos en capas de 8 a 12 pulgadas (20 a 30 cm), para su secado. El lodo ya seco es removido de los lechos y se pone a disposición para usarse como fertilizante. Los lechos pueden estar abiertos a la intemperie o cubiertos. Los lechos abiertos se usan cuando existe un área adecuada para evitar problemas ocasionales causados por los malos olores. Los lechos cubiertos con techumbre tipo invernadero son más convenientes donde es necesario deshidratar lodo continuamente durante el año sin importar el clima, y donde no existe el aislamiento suficiente para la instalación de lechos abiertos. El área total de secado es repartida en lechos individuales de aproximadamente 20 pies (6.1 m de ancho por 20 a 100 pies (6.1 a 30.5 m) de largo. Los lechos generalmente consisten de 4 a 9 pulgadas (10 a 23 cm) de arena sobre una capa de grava o piedra de 8 a 18 pulgadas (20 a 45.7 cm) de espesor. La arena tiene un tamaño efectivo típico de 0.3 a 1.2 mm y un coeficiente de uniformidad menor a 5.0. La grava normalmente se gradúa de 1/8 a 1.0 pulg. Los lechos son desaguados por drenes localizados en la grava con espaciamientos de aproximadamente 6 a 20 pies (1.8 a 6.1 m). La tubería de los drenes tiene un diámetro mínimo de 4 pulgadas (10 cm) y una pendiente mínima de aproximadamente uno por ciento. Las paredes de los lechos pueden ser de concreto, madera o tierra, y tienen normalmente una altura de 12 pulgadas (30.5 cm). El lodo puede fluir aproximadamente 100 pies (30.5 m) si la pendiente del lecho es de aproximadamente 0.5 por ciento.

Descripción del proceso

La deshidratación de lodos en lechos de secado ocurre por filtración del agua a través de medio filtrante y por evaporación del agua de la superficie del lodo. La filtración se lleva generalmente a cabo en 1 o 2 días. Esto depende en las características del lodo y la profundidad a la cual es puesto en los lechos. Después de que casi toda el agua haya sido filtrada y evaporada, el lodo se queda con un contenido de humedad en equilibrio con el aire. El contenido de humedad final dependen de la temperatura y la humedad relativa del aire. El agua drenada puede ser recirculada al influente de los tanques de sedimentación primaria. Una vez que el lodo haya sido lo suficientemente deshidratado, éste se remueve de los lechos manual o mecánicamente. Los lodos con 20 a 30 por ciento de sólidos se pueden remover mecánicamente, mientras lodos con 30 a 40 por ciento de sólidos requieren ser manejados manualmente.

Eficiencias del proceso

Una masa de lodos con 40 a 45 por ciento de sólidos se puede obtener en dos o seis semanas en un buen clima y con un lodo bien digerido, lodo primario o lodo mezclado. El tiempo de deshidratación puede ser reducido a un 50 por ciento si se cuenta con un acondicionamiento químico. Se puede lograr de un 80 a 90 por ciento de contenido de sólidos en lechos de arena pero normalmente los tiempos requeridos son imprácticos.



Filtración al vacío

Este proceso de filtración es el que más uso tiene para la deshidratación de los lodos. La descripción del funcionamiento de los filtros al vacío no se tratará con detalle en este punto.

Los tipos de filtros de vacío empleados son los de tambor o los de discos. Para lodos de aguas residuales se usan los de tambor rotativo y carga exterior con alimentación por la parte inferior.

Aproximadamente la cuarta parte del tambor está sumergido en el lodo húmedo, conforme el tambor gira, el vacío aplicado en la parte interna del medio filtrante deshidrata el lodo y mantiene una capa de éste en el tambor.

El lodo entra por la parte inferior del filtro donde se agita continuamente para evitar su decantación. En el tanque donde se sitúa el lodo, está sumergido el tambor rotativo del filtro que se mueve a una velocidad determinada en el sentido que se indica por la flecha. El tambor está dividido en segmentos, cada uno de los cuales va unido a una válvula distribuidora por la que se hace el vacío necesario. La aplicación de vacío en el sector en contacto con los lodos hace que aparezca una torta en la superficie del tambor del filtro. Posteriormente, se separa el líquido filtrado, es lavado y se hace llegar el aire de soplado para despegue de la torta antes de que el raspador la desprenda totalmente del tambor.

La operación de secado por filtro rotativo de vacío resulta muy variable pues depende de muchos parámetros. El principal es la naturaleza del lodo y también tiene su importancia el acondicionamiento químico del mismo. La concentración de los lodos de entrada al filtro parece que debe ser alrededor del 8% en peso.

Los filtros rotativos de vacío se construyen con superficie de 2 a 60 m² y van provistos de varios tipos de tela filtrante. Estas pueden ser de muy diversos materiales: algodón, lana, nylon, dracón y otros de tipo sintético; fabricándose con diferentes porosidades. También existen para usos determinados en acero inoxidable.

El acondicionamiento de los lodos húmedos es necesario para alcanzar los rendimientos normales en los filtros de vacío. Los lodos con acondicionamiento permiten eliminar el agua más rápidamente generando una torta más espesa e incrementando la velocidad del cilindro del filtro.

El rendimiento de los filtros se expresa en kg/cm² h y la calidad de los mismos se mide por la humedad contenida expresada en % en peso de sólidos. La humedad normal de salida suele estar entre el 70 y el 80%.

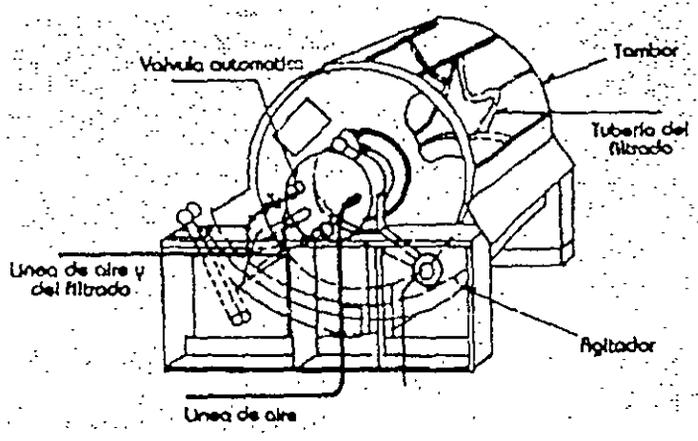
Ya que algunas veces la torta producida se seca mediante combustión húmeda o incineración, es fundamental que se alcance la sequedad prevista para no tener grandes consumos de combustible. Cuando se tratan los lodos para una incineración posterior, la torta debe tener del 60 al 70% de humedad.

Eficiencia del proceso

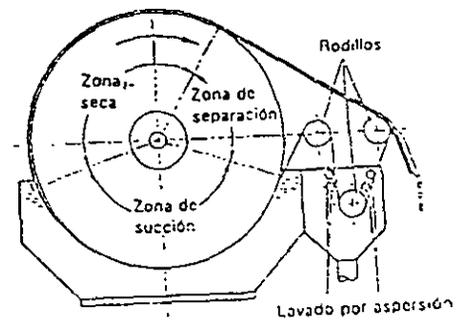
El ámbito de captura de sólidos es de 85 a 99.5 por ciento y la humedad de la masa es normalmente de 60 a 90 por ciento, dependiendo del tipo de alimentación, concentración de sólidos, acondicionamiento químico, operación y manejo de la unidad. La masa de lodos deshidratada es adecuada para el relleno sanitario, incineración o disposición en el suelo.

Consumo de energía

La energía eléctrica para la operación de las bombas al vacío, del filtrado y otras y para el



a) Elementos



b) Diagrama esquemático

Fig. 12.11 Filtro al vacío

Espesamiento por centrifugación.

La centrifugación constituye un medio eficiente para completar la sedimentación y sustituir el espesamiento por gravedad. Se emplea tanto para el espesamiento, como para la deshidratación de lodos. En primer caso, su uso está prácticamente restringido al espesamiento de lodos provenientes del sistema de lodos activados. Existen tres tipos de centrifugas apropiadas para espesar lodos: centrifuga de discos, centrifuga horizontal de transportador helicoidal o de tornillo y centrifuga de tazón (Metcalf y Eddy, 1979).

La centrifuga de discos opera en forma continua. Consiste de una unidad formada por una serie de discos ordenados verticalmente. Cada disco, actúa como una centrifuga de baja capacidad. El líquido se va clarificando gradualmente al pasar entre los discos. Los sólidos se concentran en la periferia del tambor y se descargan a través de pequeños orificios.

La centrifuga de transportador helicoidal es la más empleada en el tratamiento de lodos. La unidad central es un tambor montado en forma horizontal en donde se aloja un "gusano sinfin" que gira a una velocidad ligeramente diferente a la del tambor. Los lodos son arrojados hacia las paredes por efecto de la fuerza centrífuga y son transportados por medio del "gusano sinfin" hacia el extremo de descarga de la unidad. En la mayoría de los casos, el tambor está diseñado con un diámetro decreciente en el sentido de la trayectoria de los sólidos, creando una zona en donde los lodos pueden concentrarse un poco más. Este equipo opera en forma continua con alta eficiencia.

La centrifuga de tazón opera intermitentemente. En este sistema, el lodo se alimenta a un recipiente rotatorio montado verticalmente sobre una flecha; al girar éste los sólidos se acumulan en las paredes del recipiente y el agua sale por el centro. Cuando el equipo completa la separación, el tazón se detiene gradualmente y se procede a descargar la torta de lodo.

Centrifugación

El funcionamiento de centrifugación se basa en la separación sólido-líquido por diferente densidad y espesamiento de lodos, sometidos a fuerzas centrífugas de hasta 5,000 veces la gravedad.

La elección de la centrifuga a usar debe estar basada en el estudio del lodo a desecar y en la práctica en este tipo de secado. La selección se realiza con base en el tipo de sólidos, consumo de coagulantes, caudal tratable en cada caso y concentración de la torta de descarga.

Las centrifugas en general son equipos compactos, completamente cerrados (lo cual reduce la emisión de malos olores), que requieren poco espacio para su instalación. Son útiles especialmente en la deshidratación de lodos que puedan obstruir los medios filtrantes. La torta de lodo contiene aproximadamente 75 a 80% de humedad (Qasim, 1985).

La principal desventaja del funcionamiento de las centrifugas es la eliminación del líquido que es rico en sólidos suspendidos no sedimentables. El envío del agua separada a la sección de tratamiento de líquidos puede elevar considerablemente la carga orgánica, disminuyendo la calidad del efluente (EPA, 1987).

Para aguas residuales, hay tres tipos fundamentales de centrifugas que son:

a) Centrifugas de cesta

Estas centrifugas suelen ser pequeñas, usándose incluso en algunos casos para hacer pruebas piloto. El tanque tiene un diámetro entre 0.3 y 1.20 m.

Las centrifugas de cesta normalmente operan entre 1,000 y 1,3000 G, aumentando la concentración de la torta y la clarificación del líquido centrifugado al incrementar la aceleración de la máquina. Sólo admiten caudales de tipo medio y dan como resultado una gran recuperación de sólidos normalmente sin coagulante.

Una de las características de este tipo de centrifugas son las rastras automáticas para la eliminación de la torta colocada en el interior de la cesta. También cuentan con indicadores de espesor de torta, colador del líquido centrifugado y una descarga para mantener el anillo líquido dentro de la centrifuga.

Estas centrifugas son discontinuas, teniendo que interrumpirse el trabajo durante unos minutos para la descarga de la torta. El ciclo completo de centrifugación está comprendido entre 6 y 30 min.

La recuperación puede llegar a ser del 90% en algunos casos; sin embargo, los lodos activos de aguas residuales industriales son difíciles de clarificar.

Los caudales a tratar en estas centrifugas son pequeños al ser discontinuas y tener que parar para extraer la torta. El caudal máximo por ciclo no suele sobrepasar los 180 l/min siendo la concentración de la torta pequeña, del 10 al 20% en sólidos totales. El consumo de energía eléctrica es bajo.

b) Centrifugas de tornillo sinfin

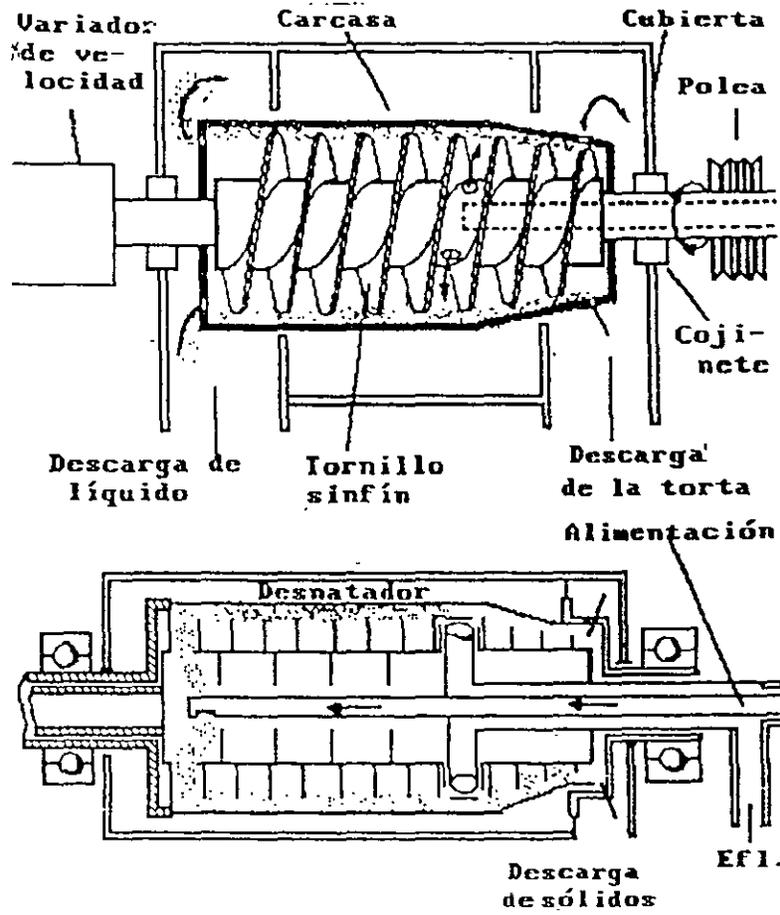
Este tipo de centrifugas es el más usado en la actualidad para lodos de aguas residuales industriales al admitir grandes cantidades de sólidos en suspensión, pudiéndose eliminar en continua la torta concentrada. Por lo tanto, al no tener que parar la máquina, los caudales que se pueden tratar son grandes.

La aceleración de estas máquinas varía de 2,000 a 4,500 G, mostrándose un esquema de las mismas en la Fig. . En ésta se pueden distinguir las dos posibilidades que existen en cuanto al sentido del recorrido de la torta y del líquido centrifugado.

Independientemente, existe la posibilidad de que la alimentación, además de ser central como se indica en la figura sea también tangencial

El movimiento de la cesta y el del tornillo sinfin son independientes, existiendo la posibilidad de que ambos sean movidos por un sólo motor y la transmisión a la cesta sea mediante poleas, o lo sean por motores autónomos.

El tornillo sinfin debe estar protegido por un dispositivo diferencial que se dispara parando instantáneamente la máquina ante cualquier sobrecarga.



Esquema de centrifuga de tornillo sinfín.

c) Centrifugas de discos

Estas centrifugas son aconsejables para la concentración de lodos activos y, en general para lodos de partículas muy finas, como pueden ser los resultantes de la floculación con alúmina de las aguas potables y residuales. No son aconsejables para lodos fibrosos.

Con estas centrifugas se pueden manejar grandes caudales con relativa eficacia en el líquido clarificado. Dada sus grandes campos centrífugos, que pueden llegar hasta los 8,000 G; es posible usarlas para separar emulsiones.

La centrifuga de discos está suspendida por un eje vertical y cubierta por una carcasa protectora. Además, cuenta con un motor apropiado que puede estar en la parte superior o en la inferior y es soportado por un bastidor. En la parte superior de la carcasa está la salida del líquido centrifugado mientras que por la inferior la de la torta de sólidos.

Las dimensiones más comerciales de estas centrifugas varían desde 20 a 80 cm para el diámetro de la carcasa que contiene los discos. La construcción de estas máquinas se hace en acero inoxidable, generalmente, para eliminar la corrosión.

La aplicación fundamental de este tipo de centrifugas es la concentración del lodo activo sin mezcla de lodo primario y con bajas concentraciones, de 0.3 a 1.0 % en sólidos en suspensión. Otro uso importante, es la separación de aceites de emulsiones acuosas en refinerías.

En la instalación de estas máquinas es muy aconsejable la colocación de rejillas o dilaceradores con objeto de evitar posibles obstrucciones. Un sistema eléctrico desconecta el motor de accionamiento en cuanto hay sobrecargas.

Otro punto de gran interés es la sequedad de la torta de lodos y su posterior manejo en función de los equipos existentes. Por último, siempre se debe considerar el costo de las máquinas y de los equipos auxiliares como, por ejemplo, el sistema de dosificación de polielectrolitos.

Descripción del proceso

El lodo se alimenta a flujo continuo a un cajón rotatorio, donde se separa una masa densa con sólidos y un líquido diluido. El líquido contiene sólidos finos de baja densidad, y es retornado al influente del espesador o del sedimentador primario. La masa de lodo, que contiene aproximadamente 75 a 80% de humedad, es removida de la unidad para su disposición o tratamiento adicional. La concentración de sólidos varía del 15 al 40%, dependiendo del tipo de lodos. Reducciones menores del 25% no son, en general, económicamente factibles. El proceso no requiere normalmente de acondicionamiento químico.

Eficiencia

Recuperación de sólidos en centrifugas de cajón sólido de 50 a 75 por ciento, sin adición de químicos, y de 80 a 95 por ciento con adición de químicos. La concentración de sólidos es de 15 o 40 por ciento, dependiendo del tipo de lodos.

Filtración a presión

Existen dos tipos de filtros a presión, los filtros prensa y los filtros banda.

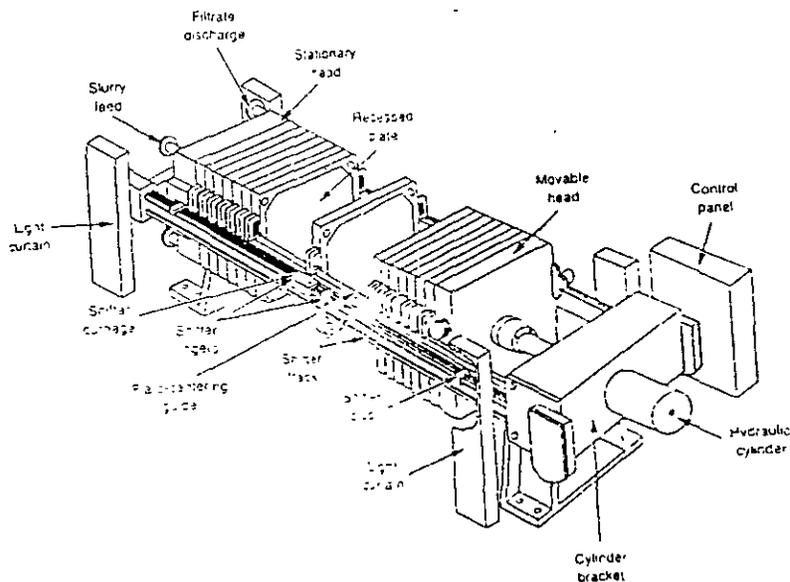
Filtros prensa

Existen diferentes tipos de filtros prensa. Uno de los más empleados para la deshidratación de lodos es el filtro prensa de marco y placas. Está compuesto por marcos rectangulares prensados entre dos placas cubiertas con tela filtrante (ver figura 12.13). Los marcos, la tela y las placas se encuentran alternados en pilas horizontales, formando una serie de cavidades de paredes porosas. La unidad tiene un extremo fijo y uno móvil, en el que se aplica presión por medio de un mecanismo hidráulico para mantener las placas y marcos prensados durante el período de filtración.

El lodo, previamente acondicionado, se alimenta al espacio formado entre las placas. Se aplica presión entre 4 y 14 kg/cm² durante 1 a 3 horas, forzando el paso del líquido a través de la tela filtrante y de los orificios de salida de las placas. El espesor de la torta de lodo varía entre 2.5 y 3.5 cm y el contenido de humedad entre 55 y 70% (Metcalf y Eddy, 1979). El tiempo necesario para completar un ciclo de filtración comprende el tiempo requerido para llenar la prensa, el tiempo que el sistema se mantiene a presión, el tiempo requerido para lavar y descargar la torta y el tiempo requerido para cerrar la prensa.

Otro tipo de filtro prensa desarrollado recientemente es el filtro prensa de diafragma o de volumen variable (EPA, 1987). Es similar al filtro prensa de marco y placas pero, en este caso, el filtro cuenta con un diafragma localizado detrás de la tela filtrante. El sistema opera en etapas: primero se llena la prensa con el lodo previamente acondicionado y se aplica presión relativamente baja (7-10.5 kg/cm²) para que el agua empiece a drenar y se forme parcialmente la torta de lodo. Una vez que se ha cargado la prensa, la alimentación de lodos se detiene y se inicia el ciclo de compresión con el diafragma, por medio de aire o agua a presión al espacio formado entre el diafragma y las placas. De esta forma la torta de lodo es oprimida contra las paredes, consiguiendo una mejor eliminación de líquido. La presión aplicada al lodo se eleva entonces hasta 14-17.5 kg/cm². Esta compresión aumenta la concentración de sólidos en la torta entre 5 y 10 % de la forma adicional (EPA, 1987). Cuando finaliza este ciclo se abren las placas y se procede a descargar la prensa.

La deshidratación de lodos en filtros prensa produce una torta con una concentración de sólidos muy alta, probablemente la más alta que se pueda obtener por medios mecánicos. Sin embargo, requiere más atención por parte de los operadores que cualquier otro equipo similar, además de que los costos de operación y mantenimiento involucrados son altos.



Esquema de un filtro prensa de marco y placa

Filtros de bandas

El diseño de los filtros banda está basado en un concepto muy simple. El lodo es prensado entre dos bandas porosas que pasan tensadas alrededor de rodillos de diferentes diámetros. La presión sobre el lodo aumenta conforme el diámetro de los rodillos disminuye; muestra un esquema simplificado de un filtro de bandas típico.

El proceso normalmente se lleva a cabo en cuatro etapas:

- Acondicionamiento con polímeros;
- zona de drenado por gravedad;
- zona de baja presión;
- zona de alta presión.

El lodo previamente acondicionado se descarga sobre la banda superior en la zona de drenado por gravedad. En esta sección, el agua libre en el lodo drena a través de la banda por efecto de la gravedad alcanzándose un aumento en la concentración de sólidos entre 5 y 10% con respecto a la alimentación (EPA, 1987). En esta fase el volumen del lodo se reduce en aproximadamente 60%.

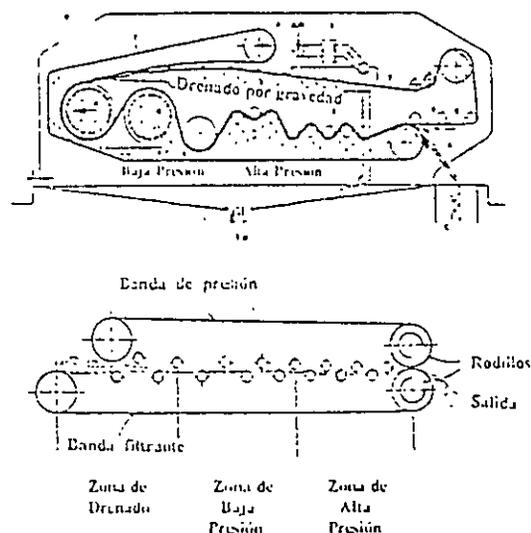
La zona de baja presión es el área donde las bandas superior e inferior se juntan, apresando entre ellas al lodo. Esta zona es muy importante porque se comienza a formar una torta de lodo firme que debe resistir la fuerte presión en la siguiente etapa.

En la última etapa las bandas pasan alrededor de una serie de rodillos, generalmente de diámetro decreciente, comprimiendo y deshidratando al lodo.

Algunas ventajas importantes de este tipo de filtro son:

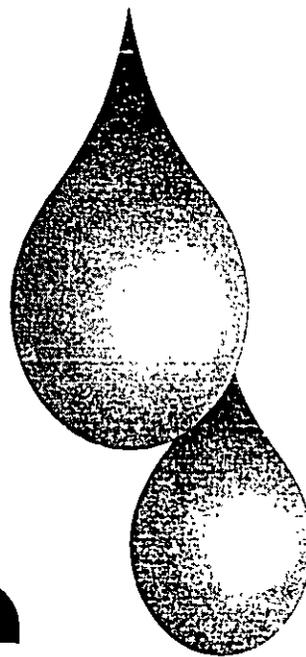
- Su operación es continua;
- produce una torta bien deshidratada (20 a 30% de sólidos);
- consume poca energía.

Su principal desventaja es la corta vida de las bandas (epa, 1987)



Esquema de un filtro de lodos de banda típico

Ley de Aguas Nacionales



y su Reglamento



COMISION NACIONAL
DEL AGUA

*Los Reyes de la Sierra
de la Sierra de la Sierra
de la Sierra de la Sierra
de la Sierra de la Sierra*

INDICE

PRIMERA PARTE: LEY DE AGUAS NACIONALES

TITULO PRIMERO: DISPOSICIONES PRELIMINARES	9
Capítulo Unico	9
TITULO SEGUNDO: ADMINISTRACION DEL AGUA	11
Capítulo I Disposiciones Generales	11
Capítulo II Ejecutivo Federal	11
Capítulo III Comisión Nacional del Agua	12
Capítulo IV Consejos de Cuenca	15
Capítulo V Organización y Participación de los Usuarios	15
TITULO TERCERO: PROGRAMACIÓN HIDRAULICA	17
Capítulo Unico	17
TITULO CUARTO: DERECHOS DE USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES	19
Capítulo I Aguas Nacionales	19
Capítulo II Concesiones y Asignaciones	20
Capítulo III Derechos y Obligaciones de Concesiones o Asignatarios	23
Capítulo IV Registro Público de Derechos de Agua	25
Capítulo V Transmisión de Títulos	26
TITULO QUINTO: ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA	29
Capítulo Unico	29
TITULO SEXTO: USOS DEL AGUA	31
Capítulo I Uso Público Urbano	31
Capítulo II Uso Agrícola	32
Sección Primera Disposiciones Generales	32
Sección Segunda Ejidos y Comunidades	35
Sección Tercera Unidades de Riego	36
Sección Cuarta Distritos de Riego	37
Sección Quinta Drenaje Agrícola	41
Capítulo III Uso en Generación de Energía Eléctrica	42
Capítulo IV Uso en Otras Actividades Productivas	43
Capítulo V Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones	43

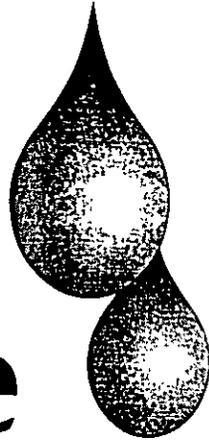
TITULO SEPTIMO: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS	45
Capítulo Unico	45
TITULO OCTAVO: INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	51
Capítulo I Disposiciones Generales	51
Capítulo II Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales	52
Capítulo III Recuperación de Inversión Pública	55
Capítulo IV Cobro por Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales y Bienes Nacionales	55
TITULO NOVENO: BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISION"	57
Capítulo Unico	57
TITULO DECIMO: INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS	61
Capítulo I Infracciones y Sanciones Administrativas	61
Capítulo II Recurso de Revisión	65
TRANSITORIOS	67

SEGUNDA PARTE: REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES

TITULO PRIMERO: DISPOSICIONES PRELIMINARES	73
Capítulo Unico	73
TITULO SEGUNDO: ADMINISTRACION DEL AGUA	79
Capítulo I Ejecutivo Federal	79
Capítulo II Comisión Nacional del Agua	79
Capítulo III Consejos de Cuenca	83
Capítulo IV Organización y Participación de los Usuarios	85
TITULO TERCERO: PROGRAMACIÓN HIDRAULICA	87
Capítulo Unico	87
TITULO CUARTO: DERECHOS DE USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES	91
Capítulo I Aguas Nacionales	91
Capítulo II Concesiones y Asignaciones	91
Capítulo III Derechos y Obligaciones de Concesiones o Asignatarios	99
Capítulo IV Registro Público de Derechos de Agua	100
Capítulo V Transmisión de Títulos	102
TITULO QUINTO: ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA	107
Capítulo Unico	107
TITULO SEXTO: USOS DEL AGUA	111
Capítulo I Uso Público Urbano	111
Capítulo II Uso Agrícola	113
Sección Primera Disposiciones Generales	113
Sección Segunda Ejidos y Comunidades	116
Sección Tercera Unidades de Riego	116
Sección Cuarta Distritos de Riego	117
Sección Quinta Drenaje Agrícola	124
Capítulo III Uso en Generación de Energía Eléctrica	126
Capítulo IV Uso en Otras Actividades Productivas	127
Capítulo V Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones	128

TITULO SEPTIMO: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS	131
Capítulo Unico	131
TITULO OCTAVO: INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	141
Capítulo I Disposiciones Generales	141
Capítulo II Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales	142
TITULO NOVENO: BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISION"	147
Capítulo Unico	147
TITULO DECIMO: INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS	153
Capítulo I Inspección y Vigilancia	153
Capítulo II Infracciones y Sanciones Administrativas	155
Capítulo III Recurso de Revisión	157
TITULO DECIMOPRIMERO: CONCILIACION Y ARBITRAJE	159
Capítulo Unico	159
TRANSITORIOS	163

**Ley
de
Aguas
Nacionales**



LEY DE AGUAS NACIONALES

TITULO PRIMERO

DISPOSICIONES PRELIMINARES

Capítulo Unico

ARTICULO 1o.- La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

ARTICULO 2o.- Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente ley señala.

ARTICULO 3o.- Para los efectos de esta ley se entenderá por:

- I.- "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;
- II.- "Acuífero": cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento;
- III.- "Cauce de una corriente": el canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la crecida máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento;
- IV.- "Cuenca hidrológica": el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hidráulico;
- V.- "La Comisión": la Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;

- VI.- "Normas": las normas oficiales mexicanas expedidas por "La Comisión" en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el artículo 113;
- VII.- "Persona física o moral": los individuos, los ejidos, las comunidades, las asociaciones, las sociedades y las demás instituciones a las que la ley reconozca personalidad jurídica, con las modalidades y limitaciones que establezca la misma;
- VIII.- "Ribera o zona federal": las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. El nivel de aguas máximas ordinarias se calculará a partir de la creciente máxima ordinaria que será determinada por "La Comisión", de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento de esta ley. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de cien metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar,
- IX.- "Sistema de agua potable y alcantarillado": el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de servicios públicos de agua potable y alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales;
- X.- "Uso consuntivo": el volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga, y que se señalan en el título respectivo;
- XI.- "Uso doméstico": la utilización de los volúmenes de agua para satisfacer las necesidades de los residentes de las viviendas;
- XII.- "Vaso de lago, laguna o estero": el depósito natural de aguas nacionales delimitado por la cota de la creciente máxima ordinaria; y
- XIII.- "Zona de protección" la faja de terreno inmediata a las presas, estructuras hidráulicas e instalaciones conexas, cuando dichas obras sean de propiedad nacional, en la extensión que en cada caso fije "La Comisión" para su protección y adecuada operación, conservación y vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento de esta ley.

TITULO SEGUNDO

ADMINISTRACION DEL AGUA

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTICULO 4o.- La autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de "La Comisión".

ARTICULO 5o.- Para el cumplimiento y aplicación de esta ley, el Ejecutivo Federal promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones. Asimismo fomentará la participación de los usuarios y de los particulares en la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos.

CAPITULO II

Ejecutivo Federal

ARTICULO 6o.- Compete al Ejecutivo Federal:

- I.- Expedir los decretos para el establecimiento o supresión de la veda de aguas nacionales, en los términos del Título Quinto de la presente ley;
- II.- Reglamentar el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, inclusive las que hayan sido libremente alumbradas, así como de las aguas superficiales, en los términos del Título Quinto de la presente ley;
- III.- Establecer distritos de riego cuando implique expropiación por causa de utilidad pública;
- IV.- Expedir por causas de utilidad pública los decretos de expropiación, de ocupación temporal, total o parcial de los bienes, o la limitación de los derechos de dominio; y
- V.- Las demás atribuciones que señale la ley.

ARTICULO 7o.- Se declara de utilidad pública:

- I.- La adquisición o aprovechamiento de los bienes inmuebles que se requieran para la construcción, operación, mantenimiento, conservación, rehabilitación, mejoramiento o desarrollo de las obras públicas hidráulicas y de los servicios respectivos, y la adquisición y aprovechamiento de las demás instalaciones, inmuebles y vías de comunicación que las mismas requieran;
- II.- La protección, mejoramiento y conservación de cuencas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como la infiltración de aguas para reabastecer mantos acuíferos y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;
- III.- El aprovechamiento de las aguas nacionales para la generación de energía eléctrica destinada a servicios públicos;
- IV.- Restablecer el equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o de subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción, las vedas, las reservas y el cambio en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico;
- V.- La instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales y la ejecución de medidas para el reuso de dichas aguas, así como la construcción de obras de prevención y control de la contaminación del agua;
- VI.- El establecimiento en los términos de esta ley de distritos de riego o unidades de drenaje, y la adquisición de las tierras y demás bienes inmuebles necesarios para integrar las zonas de riego o drenaje;
- VII.- La prevención y atención de los efectos de los fenómenos meteorológicos extraordinarios que pongan en peligro las personas o instalaciones; y
- VIII.- La instalación de los dispositivos necesarios para la medición de la cantidad y calidad de las aguas nacionales.

CAPITULO III

Comisión Nacional del Agua

ARTICULO 8o.- Son atribuciones del Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos:

- I.- Proponer al Ejecutivo Federal la política hidráulica del país;
- II.- Fungir como Presidente del Consejo Técnico de "La Comisión"; y

- III.- Las que en materia hidráulica le asignen específicamente las disposiciones legales.

ARTICULO 9o.- Son atribuciones de "La Comisión":

- I.- Ejercer las atribuciones que conforme a la presente ley corresponden a la autoridad en materia hidráulica, dentro del ámbito de la competencia federal, excepto las que debe ejercer directamente el Ejecutivo Federal;
- II.- Formular el programa nacional hidráulico respectivo, actualizarlo y vigilar su cumplimiento;
- III.- Proponer los criterios y lineamientos que permitan dar unidad y congruencia a las acciones del Gobierno Federal en materia de aguas nacionales, y asegurar y vigilar la coherencia entre los respectivos programas y la asignación de recursos para su ejecución;
- IV.- Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; los de saneamiento, tratamiento y reuso de aguas; los de riego o drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones. En su caso, contratar o concesionar la prestación de los servicios que sean de su competencia o que así convenga con terceros;
- V.- Administrar y custodiar las aguas nacionales y los bienes nacionales a que se refiere el artículo 113, y preservar y controlar la calidad de las mismas, así como manejar las cuencas en los términos de la presente ley;
- VI.- Programar, estudiar, construir, operar, conservar y mantener las obras hidráulicas federales directamente o a través de contratos o concesiones con terceros, y realizar acciones para el aprovechamiento integral del agua y la conservación de su calidad;
- VII.- Expedir los títulos de concesión, asignación o permiso a que se refiere la presente ley, reconocer derechos y llevar el Registro Público de Derechos de Agua;
- VIII.- Conciliar y, en su caso, fungir a petición de los usuarios, como árbitro en la solución de los conflictos relacionados con el agua, en los términos del reglamento de esta ley;
- IX.- Promover el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso;

- X.- Ejercer las atribuciones fiscales en materia de administración, determinación, liquidación, cobro, recaudación y fiscalización de las contribuciones y aprovechamientos que se le destinen o en los casos que señalen las leyes respectivas, conforme a lo dispuesto en el Código Fiscal de la Federación;
- XI.- Promover y, en su caso, realizar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en materia de agua y la formación y capacitación de recursos humanos,
- XII.- Expedir las normas en materia hidráulica en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización;
- XIII.- Vigilar el cumplimiento y aplicación de la presente ley, interpretarla para efectos administrativos, y aplicar las sanciones y ejercer los actos de autoridad en la materia que no estén reservados al Ejecutivo Federal,
- XIV.- Actuar con autonomía técnica y administrativa en el manejo de los recursos que se le destinen y de los bienes que tenga en los términos de esta ley, así como con autonomía de gestión para el cabal cumplimiento de su objeto y de los objetivos y metas señalados en sus programas y presupuesto,
- XV.- Expedir en cada caso, respecto de los bienes de propiedad nacional a que se refiere esta ley, la declaratoria correspondiente, que se publicará en el Diario Oficial de la Federación; y
- XVI.- Realizar las demás que señalen las disposiciones legales o reglamentarias.

ARTICULO 10.- "La Comisión" contará con un Consejo Técnico que estará integrado por los titulares de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público, de Desarrollo Social; de la Contraloría General de la Federación; de Energía, Minas e Industria Paraestatal; de Agricultura y Recursos Hidráulicos, quien lo presidirá; de Salud y de Pesca. Por cada representante propietario se designará a los suplentes necesarios.

El Consejo, cuando así lo considere conveniente, podrá invitar a sus sesiones a los titulares de las demás dependencias y entidades de la Administración Pública Federal y a representantes de las entidades federativas, de los municipios y de los usuarios

ARTICULO 11.- El Consejo Técnico tendrá las siguientes facultades.

- I.- Conocer y acordar las políticas y medidas que permitan la programación y acción coordinada entre las dependencias de la administración pública federal que deban intervenir en materia hidráulica;
- II.- Acordar los asuntos que se sometan a su consideración sobre administración del agua y sobre los ingresos, bienes y recursos de "La Comisión",

- III.- Conocer los programas y presupuesto de "La Comisión", supervisar su ejecución y conocer los informes que presente el Director General;
- IV.- Proponer los términos en que se podrán gestionár y concertar los créditos que requiera "La Comisión";
- V.- Acordar la creación de los consejos de cuenca, y
- VI.- Las demás que se señalen en la presente ley o su reglamento, y las que sean necesarias para el cumplimiento de su objeto

ARTICULO 12.- El Director General de "La Comisión", quien será designado por el Titular del Ejecutivo Federal, dirigirá y representará legalmente a "La Comisión", adscribirá las unidades administrativas de la misma, expedirá sus manuales, tramitará ante las dependencias competentes el ejercicio del presupuesto aprobado, delegaré facultades en el ámbito de su competencia y tendrá las demás facultades que le confieran las disposiciones legales o reglamentarias.

CAPITULO IV

Consejos de Cuenca

ARTICULO 13.- "La Comisión", previo acuerdo de su Consejo Técnico, establecerá consejos de cuenca que serán instancias de coordinación y concertación entre "La Comisión", las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica, con objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca.

"La Comisión" concertará con los usuarios, en el ámbito de los consejos de cuenca, las posibles limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva. En estos casos tendrá prioridad el uso doméstico.

CAPITULO V

Organización y Participación de los Usuarios

ARTICULO 14.- "La Comisión" acreditará, promoverá y apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, y para impulsar la participación de éstos a nivel estatal, regional o de cuenca en los términos de la presente ley y su reglamento.

TITULO TERCERO
PROGRAMACION HIDRAULICA
Capítulo Unico

ARTICULO 15.- La formulación, implantación y evaluación de la programación hidráulica comprenderá:

- I.- La aprobación por parte del Ejecutivo Federal del programa nacional hidráulico respectivo;
- II.- La formulación e integración de subprogramas específicos, regionales, de cuencas, estatales y sectoriales que permitan la concesión o asignación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, así como el control y preservación de la misma;
- III.- La formulación y actualización del inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, así como el de los usos del agua y de la infraestructura para su aprovechamiento y control;
- IV.- La integración y actualización del catálogo de proyectos para el aprovechamiento del agua y para la preservación y control de su calidad;
- V.- La clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo con los usos a que se destinen, y la elaboración de los balances hidráulicos en cantidad y calidad y por cuencas y regiones hidrológicas;
- VI.- La formulación de estrategias y políticas para la regulación del uso o aprovechamiento del agua;
- VII.- La promoción de los mecanismos de consulta, concertación y participación para la ejecución de programas y para su financiamiento, que permitan la concurrencia de los usuarios y de sus organizaciones y de las dependencias y entidades de la administración pública federal, estatal o municipal; y
- VIII.- La programación hidráulica respetará la cuota natural de renovación de las aguas.

La formulación, seguimiento, evaluación y modificación de la programación hidráulica, en los términos de la Ley de Planeación, se efectuará con el concurso de los consejos de cuenca o, en su defecto, por los mecanismos que garanticen la participación de los usuarios.

TITULO CUARTO
DERECHOS DE USO O APROVECHAMIENTO
DE AGUAS NACIONALES

CAPITULO I
Aguas Nacionales

ARTICULO 16.- Son aguas nacionales, las que se enuncian en el párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El régimen de propiedad nacional de las aguas subsistirá aún cuando las aguas, mediante la construcción de obras, sean desviadas del cauce o vaso originales, se impida su afluencia a ellos o sean objeto de tratamiento.

Igualmente, las aguas residuales provenientes del uso de las aguas propiedad de la Nación tendrán el mismo carácter.

ARTICULO 17.- Es libre la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales por medios manuales para fines domésticos y de abrevadero, siempre que no se desvíen de su cauce ni se produzca una alteración en su calidad o una disminución significativa en su caudal, en los términos del reglamento.

No se requerirá concesión para la extracción de aguas marinas tanto interiores como del mar territorial, sin perjuicio de lo dispuesto en la Ley Minera y demás disposiciones legales.

ARTICULO 18.- Las aguas nacionales del subsuelo podrán ser libremente alumbradas mediante obras artificiales, excepto cuando el Ejecutivo Federal por causa de interés público reglamente su extracción y utilización, establezca zonas de veda o declare su reserva.

Independientemente de lo anterior, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo causará las contribuciones fiscales que señale la ley. En las declaraciones fiscales correspondientes se deberá señalar que se encuentra inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua, en los términos de la presente ley.

ARTICULO 19.- Cuando se den los supuestos previstos en el artículo 38, será de interés público el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, inclusive de las que hayan sido libremente alumbradas, conforme a las disposiciones que el Ejecutivo Federal dicte, en los términos de lo dispuesto en esta ley.

CAPITULO II

Concesiones y Asignaciones

ARTICULO 20.- La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales por parte de personas físicas o morales se realizará mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "La Comisión", de acuerdo con las reglas y condiciones que establece esta ley y su reglamento.

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales por dependencias y organismos descentralizados de la administración pública federal, estatal o municipal, se podrá realizar mediante asignación otorgada por "La Comisión".

La asignación de agua a que se refiere el párrafo anterior se regirá por las mismas disposiciones que se aplican a las concesiones, y el asignatario se considerará concesionario para efectos de la presente ley.

ARTICULO 21.- La solicitud de concesión deberá contener:

- I.- Nombre y domicilio del solicitante,
- II.- Cuenca, región y localidad a que se refiere la solicitud;
- III.- El punto de extracción de las aguas nacionales que se soliciten;
- IV.- El volumen de consumo requerido;
- V.- El uso inicial que se le dará al agua, sin perjuicio de lo dispuesto en el segundo párrafo del artículo 25,
- VI.- El punto de descarga con las condiciones de cantidad y calidad;
- VII.- El proyecto de las obras a realizar o las características de las obras existentes para su extracción y aprovechamiento, así como las respectivas para la descarga; y
- VIII.- El plazo por el que solicita la concesión.

ARTICULO 22.- "La Comisión" deberá contestar las solicitudes dentro de un plazo que no excederá de noventa días hábiles desde su fecha de presentación y estando debidamente integrado el expediente

El otorgamiento de una concesión o asignación se sujetará a lo dispuesto por esta ley y su reglamento y tomará en cuenta la disponibilidad del agua conforme a la programación hidráulica, los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua y el Registro a que se refiere el Capítulo IV de este Título, así como las vedas y reservas existentes.

En el otorgamiento de las concesiones se observará lo siguiente:

- I.- "La Comisión" podrá reservar para concesionar ciertas aguas por medio de concurso, cuando se prevea la concurrencia de varios interesados;
- II.- Cuando no se reserven las aguas en los términos de la fracción anterior, "La Comisión" podrá otorgar la concesión a quien la solicite en primer lugar. Si distintos solicitantes concurrieran simultáneamente, "La Comisión" podrá proceder a seleccionar la solicitud que ofrezca los mejores términos y condiciones.

Para efectos de lo dispuesto en el presente artículo, "La Comisión" publicará la disponibilidad de aguas nacionales en los términos del reglamento por cuenca, región o localidad.

ARTICULO 23.- El título de concesión que otorgue "La Comisión" deberá contener por lo menos los mismos datos que se señalan en el artículo 21.

En el correspondiente título de concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales, se autorizará además el proyecto de las obras necesarias que pudieran afectar el régimen hidráulico o hidrológico de los cauces o vasos de propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, y también, de haberse solicitado, la explotación, uso o aprovechamiento de dichos cauces, vasos o zonas

ARTICULO 24.- El término de la concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales no será menor de cinco ni mayor de cincuenta años.

Tales concesiones o asignaciones en los términos del artículo 22, se prorrogarán por igual término por el que se hubieren otorgado si sus titulares no incurrieren en las causales de terminación previstas en la presente ley y lo soliciten dentro de los cinco años previos al término de su vigencia.

En tanto se resuelven las solicitudes de prórroga de concesión o asignación, continuarán en vigor los títulos con respecto a los cuales se formulen.

ARTICULO 25.- Una vez otorgado el título de concesión o asignación, el concesionario o asignatario tendrá el derecho de explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales durante el término de la concesión o asignación, conforme a lo dispuesto en esta ley y su reglamento.

El concesionario o asignatario, cuando no se altere el uso consuntivo establecido en el título correspondiente, podrá cambiar el uso de agua concesionada o asignada, debiendo dar aviso a "La Comisión" para efectos de actualizar o modificar el permiso de descarga respectivo y actualizar en lo conducente el Registro Público de Derechos de Agua. En caso contrario, requerirá de autorización previa de "La Comisión".

El derecho del concesionario o asignatario sólo podrá ser afectado por causas establecidas en la presente ley, debidamente fundadas y motivadas.

ARTICULO 26.- Se suspenderá la concesión o asignación para el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, independientemente de la aplicación de las sanciones que procedan, cuando:

- I.- El concesionario o asignatario no cubra los pagos que conforme a la ley debe efectuar por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas o por los servicios de suministro de las mismas, hasta que regularice tal situación;
- II.- El concesionario o asignatario no permita que se efectúe la inspección, la medición o verificación sobre los recursos e infraestructura hidráulica concesionada o asignada, hasta que regularice tal situación; y
- III.- El concesionario o asignatario no cumpla con el título de concesión o asignación, por causas comprobadas imputables al mismo, hasta que regularice tal situación.

En todo caso, se otorgará al concesionario o asignatario un plazo de quince días hábiles para que regularice su situación, antes de aplicar la suspensión respectiva

ARTICULO 27.- La concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales sólo podrá terminar por:

- I.- Vencimiento del plazo establecido en el título, excepto cuando se hubiere prorrogado en los términos del artículo 24, o renuncia del titular,
- II - Revocación por incumplimiento, en los siguientes casos
 - a). Disponer del agua en volúmenes mayores que los autorizados, cuando por la misma causa el beneficiario haya sido suspendido en su derecho con anterioridad,
 - b). Dejar de pagar las contribuciones o aprovechamientos que establezca la legislación fiscal por la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales o por los servicios de suministro de las mismas, cuando por la misma causa el beneficiario haya sido suspendido en su derecho con anterioridad;

- c). No ejecutar las obras y trabajos autorizados para el aprovechamiento de aguas y control de su calidad, en los términos y condiciones que señala esta ley y su reglamento;
 - d). Transmitir los derechos del título en contravención a lo dispuesto en esta ley; o
 - e). Incumplir con lo dispuesto en la ley respecto de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales o preservación y control de su calidad, cuando por la misma causa al infractor se le hubiere aplicado con anterioridad sanción mediante resolución que quede firme, conforme a las fracciones II y III del artículo 120.
- III.- Caducidad declarada por "La Comisión", cuando se deje de explotar, usar o aprovechar aguas nacionales durante tres años consecutivos;
 - IV.- Rescate de la concesión o asignación por causa de utilidad o interés público, mediante pago de indemnización cuyo monto será fijado por peritos, en los términos previstos para la concesión en la Ley General de Bienes Nacionales; o
 - V.- Resolución Judicial.

CAPITULO III

Derechos y Obligaciones de Concesionarios o Asignatarios

ARTICULO 28.- Los concesionarios o asignatarios tendrán los siguientes derechos:

- I.- Explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales y los bienes a que se refiere el artículo 113, en los términos de la presente ley y del título respectivo;
- II.- Realizar a su costa las obras o trabajos para ejercitar el derecho de explotación, uso o aprovechamiento del agua, en los términos de la presente ley y su reglamento;
- III.- Obtener la constitución de las servidumbres legales en los terrenos indispensables para llevar a cabo el aprovechamiento de agua o su desalojo, tales como la de desagüe, de acueducto y las demás establecidas en la legislación respectiva o que se convengan;
- IV.- Transmitir los derechos de los títulos que tengan, ajustándose a lo dispuesto por esta ley;
- V.- Renunciar a las concesiones o asignaciones y a los derechos que de ellas deriven;

- VI.- Solicitar correcciones administrativas o duplicados de sus títulos;
- VII.- Obtener prórroga de los títulos por igual término de vigencia, de acuerdo con lo previsto en el artículo 24; y
- VIII.- Las demás que le otorguen esta ley y su reglamento.

ARTICULO 29.- Los concesionarios o asignatarios tendrán las siguientes obligaciones.

- I.- Ejecutar las obras y trabajos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas en los términos y condiciones que establece esta ley y su reglamento, y comprobar su ejecución para prevenir efectos negativos a terceros o al desarrollo hidráulico de las fuentes de abastecimiento o de la cuenca;
- II.- Cubrir los pagos que les correspondan de acuerdo con lo establecido en la legislación fiscal vigente y en las demás disposiciones aplicables;
- III.- Sujetarse a las disposiciones generales y normas en materia de seguridad hidráulica y de equilibrio ecológico y protección al ambiente;
- IV.- Operar, mantener y conservar las obras que sean necesarias para la estabilidad y seguridad de presas, control de avenidas y otras que de acuerdo a las normas se requieran para seguridad hidráulica;
- V.- Permitir al personal de "La Comisión" la inspección de las obras hidráulicas utilizadas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo, y permitir la lectura y verificación del funcionamiento de los medidores y las demás actividades que se requieran para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en la presente ley;
- VI.- Proporcionar la información y documentación que les solicite "La Comisión" para verificar el cumplimiento de las condiciones contenidas en esta ley y en los títulos de concesión, asignación o permiso a que se refiere la presente ley;
- VII.- Cumplir con los requisitos de uso eficiente del agua y realizar su reuso en los términos de las normas oficiales y de las condiciones particulares que al efecto se emitan; y
- VIII.- Cumplir con las demás obligaciones establecidas en esta ley y su reglamento.

CAPITULO IV

Registro Público de Derechos de Agua

ARTICULO 30.- "La Comisión" llevará el Registro Público de Derechos de Agua, en el que deberán inscribirse los títulos de concesión, de asignación y los permisos a que se refiere la presente ley, así como las prórrogas de las mismas, su suspensión, terminación y los actos y contratos relativos a la transmisión total o parcial de su titularidad.

Los actos que efectúe "La Comisión" se inscribirán de oficio; los relativos a la transmisión total o parcial de los títulos, así como los cambios que se efectúen en sus características o titularidad, se inscribirán a petición de parte interesada, por orden de presentación y cuando se satisfagan los requisitos que establezca el reglamento de la presente ley.

ARTICULO 31.- Las constancias de su inscripción en el Registro serán medios de prueba de la existencia, de la titularidad y de la situación de los títulos respectivos, y la inscripción será condición para que la transmisión de la titularidad de los títulos surta sus efectos legales ante terceros y ante "La Comisión".

Toda persona podrá consultar el Registro Público de Derechos de Agua y solicitar a su costa certificaciones de las inscripciones y documentos que dieron lugar a las mismas, así como sobre la inexistencia de un registro o de una inscripción posterior en relación con una determinada.

El Registro Público de Derechos de Agua podrá modificar o rectificar una inscripción cuando sea solicitada por el afectado, se acredite la existencia de la omisión o del error y no se perjudiquen derechos de terceros o medie consentimiento de parte legítima en forma auténtica. Las reclamaciones por negativa, rectificación, modificación y cancelación de inscripciones que perjudiquen a terceros, así como las que se refieran a nulidad de éstas, se resolverán por "La Comisión" en los términos del reglamento.

"La Comisión" proveerá lo necesario para el respeto de los derechos inscritos en el Registro.

El Registro se organizará y funcionará en los términos del reglamento de la presente ley.

ARTICULO 32.- En el Registro Público de Derechos de Agua se llevará igualmente el registro nacional permanente, por zonas o regiones, de las obras de alumbramiento y de los brotes de agua del subsuelo, para conocer el comportamiento de los acuíferos y, en su caso, regular su explotación, uso o aprovechamiento.

"La Comisión" solicitará los datos a los propietarios de las tierras, independientemente de que éstas se localicen dentro o fuera de una zona reglamentada o de veda. Los propietarios estarán obligados a proporcionar esta información y la relativa a las obras de perforación o alumbramiento que hayan efectuado.

CAPITULO V

Transmisión de Títulos

ARTICULO 33.- Los títulos de concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, para su transmisión se sujetarán a lo siguiente:

- I.- En el caso de simple cambio de titular, cuando no se modifiquen las características del título de concesión, procederá la transmisión mediante un simple aviso de inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua; y
- II.- En el caso de que, conforme al reglamento de esta ley, se puedan afectar los derechos de terceros o se puedan alterar o modificar las condiciones hidrológicas o ecológicas de las respectivas cuencas o acuíferos, se requerirá autorización previa de "La Comisión", la cual podrá, en su caso, otorgarla, negarla o instruir los términos y condiciones bajo las cuales se otorga la autorización solicitada.

ARTICULO 34.- "La Comisión", en los términos del reglamento y, mediante acuerdos de carácter regional, por cuenca, entidad federativa, zona o localidad, autorizará que se puedan efectuar las transmisiones de los títulos respectivos, dentro de una misma cuenca o acuífero, sin mayor trámite que su inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua.

Los acuerdos a que se refiere este artículo deberán publicarse en el Diario Oficial de la Federación

En los casos de transmisión de títulos a que se refiere el presente artículo, la solicitud de inscripción se deberá efectuar dentro de los quince días hábiles siguientes a la fecha de la celebración del acto o contrato de transmisión. Tan pronto se presente la solicitud, en los términos del reglamento, surtirá efectos la transmisión de derechos frente a "La Comisión" y se deberá proceder a su inmediata inscripción, para que los produzca frente a terceros.

ARTICULO 35.- La transmisión de los derechos para explotar, usar o aprovechar aguas del subsuelo en zonas de veda o reglamentadas, se convendrá conjuntamente con la transmisión de la propiedad de los terrenos respectivos.

Si se desea efectuar la transmisión por separado, se podrá realizar en la forma y términos previstos en el reglamento de la presente ley. En todo caso, existirá responsabilidad solidaria entre quien transmite y quien adquiere los derechos, para sufragar los gastos que ocasione la clausura del pozo que no se utilizará.

ARTICULO 36.- Cuando se transmita la titularidad de una concesión o asignación, el adquirente se subrogará en los derechos y obligaciones de la misma.

ARTICULO 37.- Serán nulas y no producirán ningún efecto las transmisiones que se efectúen en contravención a lo dispuesto en la presente ley, independientemente de la revocación a la que se refiere el artículo 27, fracción II, inciso d)

TITULO QUINTO

ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA

Capítulo Unico

ARTICULO 38.- El Ejecutivo Federal, previos los estudios técnicos que al efecto se elaboren y publiquen, conforme a lo dispuesto en el artículo 6o. de la presente ley, podrá reglamentar la extracción y utilización de aguas nacionales, establecer zonas de veda o declarar la reserva de aguas en los siguientes casos de interés público:

- I.- Para prevenir o remediar la sobreexplotación de los acuíferos;
- II.- Para proteger o restaurar un ecosistema;
- III.- Para preservar fuentes de agua potable o protegerlas contra la contaminación;
- IV.- Para preservar y controlar la calidad del agua; o
- V.- Por escasez o sequía extraordinarias.

Los reglamentos, decretos y sus modificaciones se publicarán en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO 39.- En la reglamentación de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales a que se refiere el artículo anterior, el Ejecutivo Federal fijará los volúmenes de extracción y descarga que se podrán autorizar, las modalidades o límites a los derechos de los concesionarios y asignatarios, así como las demás disposiciones especiales que se requieran por causa de interés público.

Igualmente, en circunstancias de sequías extraordinarias, de sobreexplotación grave de acuíferos o en estados similares de necesidad o urgencia por causa de fuerza mayor, el Decreto del Ejecutivo Federal podrá adoptar las medidas que sean necesarias en relación con la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, para enfrentar estas situaciones.

ARTICULO 40.- Los decretos por los que se establezcan o supriman zonas de veda contendrán la ubicación y delimitación de la misma, así como sus consecuencias y modalidades.

El decreto de veda correspondiente deberá señalar:

- I.- La declaratoria de interés público;
- II.- Las características de la veda o de su supresión;

- III.- Las condiciones bajo las cuales "La Comisión", establecerá modalidades o limitará las extracciones o descargas en forma temporal o definitiva, mediante la expedición de las normas; -
- IV.- Los volúmenes de extracción a que se refiere la fracción anterior; y
- V.- La temporalidad determinada en que estará vigente la veda, la cual podrá prorrogarse de subsistir los supuestos del artículo 38.

ARTICULO 41.- El Ejecutivo Federal podrá declarar o levantar mediante decreto la reserva total o parcial de las aguas nacionales para usos específicos.

ARTICULO 42.- La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo en las zonas en donde el Ejecutivo Federal las reglamente o decreta su veda, incluso las que hayan sido libremente alumbradas, requerirán de:

- I.- Concesión o asignación para su explotación, uso o aprovechamiento; y
- II.- Permisos para las obras de perforación que se realicen a partir del decreto de veda o reglamentación.

Las asignaciones o concesiones se otorgarán con base en el volumen anual de agua usada o aprovechada como promedio en los dos años inmediatamente anteriores al decreto respectivo, y que se hubieran inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua.

A falta de dicha inscripción en el Registro citado, se tomará en cuenta el volumen declarado fiscalmente para efectos del pago del derecho federal por uso o aprovechamiento de agua

ARTICULO 43.- En los casos del artículo anterior, será necesario solicitar a "La Comisión" el permiso para realizar:

- I.- La perforación con el objeto de completar el volumen autorizado, si una vez terminada la obra hidráulica no se obtiene el mismo,
- II.- La reposición de pozo, y
- III.- La profundización, relocalización o cambio de equipo del pozo.

El permiso tomará en cuenta las extracciones permitidas en los términos del artículo 40

TITULO SEXTO

USOS DEL AGUA

CAPITULO I

Uso Público Urbano

ARTICULO 44.- La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo por parte de los sistemas estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, se efectuarán mediante asignación que otorgue "La Comisión", en la cual se consignará en su caso la forma de garantizar el pago de las contribuciones, productos y aprovechamientos que se establecen en la legislación fiscal, y la forma prevista para generar los recursos necesarios para el cumplimiento de estas obligaciones.

Las asignaciones de aguas nacionales a centros de población que se hubieran otorgado a los ayuntamientos o a las entidades federativas que administren los respectivos sistemas de agua potable y alcantarillado, subsistirán aun cuando estos sistemas sean administrados por entidades paraestatales o paramunicipales, o se concesionen a particulares por la autoridad competente.

ARTICULO 45.- Es competencia de las autoridades municipales, con el concurso de los gobiernos de los estados en los términos de la ley, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieran asignado, incluyendo las residuales, desde el punto de su extracción o de su entrega por parte de "La Comisión" hasta el sitio de su descarga a cuerpos receptores que sean bienes nacionales. La explotación, uso o aprovechamiento se podrá efectuar por dichas autoridades, a través de sus entidades paraestatales o de concesionarios en los términos de ley.

En el caso del párrafo anterior, en el reuso de aguas residuales, se deberán respetar los derechos que sobre las mismas estén inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua.

ARTICULO 46.- "La Comisión" podrá realizar en forma parcial o total, previa celebración del acuerdo o convenio con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios correspondientes, las obras de captación o almacenamiento, conducción y, en su caso, tratamiento o potabilización para el abastecimiento de agua, con los fondos pertenecientes al erario federal o con fondos obtenidos con aval o mediante cualquier otra forma de garantía otorgada por la Federación, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- I.- Que las obras se localicen en más de una entidad federativa, o que tengan usos múltiples de agua, o que sean solicitadas expresamente por los interesados,

- II.- Que los gobiernos de las entidades federativas y los municipios respectivos participen, en su caso, con fondos e inversiones en la obra a construir, y que se obtenga el financiamiento necesario;
- III.- Que se garantice la recuperación de la inversión, de conformidad con la legislación fiscal aplicable, y que el usuario o sistema de usuarios se comprometa a hacer una administración eficiente de los sistemas de agua y a cuidar la calidad de la misma; y
- IV.- Que en su caso las respectivas entidades federativas y municipios, y sus entidades paraestatales o paramunicipales, o personas morales que al efecto contraten, asuman el compromiso de operar, conservar, mantener y rehabilitar la infraestructura hidráulica.

En los acuerdos o convenios respectivos se establecerán los compromisos relativos.

ARTICULO 47.- Las descargas de aguas residuales a bienes nacionales o su infiltración en terrenos que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, se sujetarán a lo dispuesto en el Título Séptimo.

"La Comisión" promoverá el aprovechamiento de aguas residuales de los sistemas de agua potable y alcantarillado, que se podrán realizar por los municipios, los organismos operadores o por terceros.

CAPITULO II

Uso Agrícola

Sección Primera

Disposiciones Generales

ARTICULO 48.- Los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, así como los ejidos, comunidades, sociedades y demás personas que sean titulares o poseedores de tierras agrícolas, ganaderas o forestales dispondrán del derecho de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieren concesionado en los términos de la presente ley

Cuando se trate de concesiones de agua para riego, "La Comisión" podrá autorizar su aprovechamiento total o parcial en terrenos distintos de los señalados en la concesión, cuando el nuevo adquirente de los derechos sea su propietario o poseedor, siempre y cuando no se causen perjuicios a terceros.

ARTICULO 49.- Los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua para uso agrícola, ganadero o forestal se podrán transmitir en los términos y condiciones establecidas en esta ley y su reglamento.

Quando se trate de unidades, distritos o sistemas de riego, la transmisión de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua se hará cumpliendo con los términos de los reglamentos respectivos que expidan.

ARTICULO 50.- Se podrá otorgar concesión a:

- I.- Personas físicas o morales para la explotación, uso o aprovechamiento individual de aguas nacionales para fines agrícolas; y
- II.- Personas morales para administrar u operar un sistema de riego o para la explotación, uso o aprovechamiento común de aguas nacionales para fines agrícolas.

ARTICULO 51.- Para la administración y operación de los sistemas o para el aprovechamiento común de las aguas a que se refiere la fracción II del artículo anterior, las personas morales deberán contar con un reglamento que incluya:

- I.- La distribución y administración de las aguas concesionadas, así como la forma en que se tomarán decisiones por el conjunto de usuarios;
- II.- La forma de garantizar y proteger los derechos individuales de sus miembros o de los usuarios del servicio de riego y su participación en la administración y vigilancia del sistema;
- III.- La forma de operación, conservación y mantenimiento, así como para efectuar inversiones para el mejoramiento de la infraestructura o sistema común, y la forma en que se recuperarán los costos incurridos. Será obligatorio para los miembros o usuarios el pago de las cuotas fijadas para seguir recibiendo el servicio o efectuar el aprovechamiento.
- IV.- Los derechos y obligaciones de los miembros o usuarios, así como las sanciones por incumplimiento
- V.- La forma y condiciones a las que se sujetará la transmisión de los derechos individuales de explotación, uso o aprovechamiento de aguas entre los miembros o usuarios del sistema común.
- VI.- Los términos y condiciones en los que se podrán transmitir total o parcialmente a terceras personas el título de concesión, o los excedentes de agua que se obtengan;
- VII.- La forma en que se sustanciarán las inconformidades de los miembros o usuarios;

VIII.- La forma y términos en que se procederá a la fusión, escisión, extinción y liquidación; y

IX.- Los demás que se desprendan de la presente ley y su reglamento o acuerden los miembros o usuarios.

El reglamento y sus modificaciones, requerirán el acuerdo favorable de las dos terceras partes de los votos de la asamblea general que se hubiera convocado expresamente para tal efecto.

ARTICULO 52.- El derecho de explotación, uso o aprovechamiento de aguas por los miembros o usuarios de las personas morales a que se refiere la fracción II del artículo 50, deberá precisarse en el padrón que al efecto el concesionario deberá llevar, en los términos del reglamento a que se refiere el artículo anterior.

El padrón será público, se constituirá en un medio de prueba de la existencia y situación de los derechos y estará a disposición para consulta de los interesados.

Los derechos inscritos en el padrón no se podrán afectar, sin previa audiencia del posible afectado.

Los miembros o usuarios registrados en el padrón tendrán la obligación de proporcionar periódicamente la información y documentación que permita su actualización

ARTICULO 53.- Lo dispuesto en los artículos 50 a 52 se aplicará a unidades y distritos de riego.

Cuando los ejidos o comunidades formen parte de las unidades o distritos a que se refiere el párrafo anterior, se sujetarán a lo dispuesto para éstos en el presente ordenamiento.

Los ejidos o comunidades que no estén incluidos en las unidades o distritos de riego, se considerarán concesionarios para efectos de la presente ley y, en caso de tener sistemas comunes de riego o de hacer aprovechamientos comunes de agua, se aplicará respecto de estos sistemas o aprovechamientos lo dispuesto en los artículos 51 y 52, en este caso serán los ejidatarios o comuneros que usen o aprovechen dichos sistemas o aprovechamiento los que expidan el reglamento respectivo

ARTICULO 54.- Las personas físicas o morales que constituyen una unidad o distrito de riego podrán variar parcial o totalmente el uso del agua, conforme a lo que dispongan sus respectivos reglamentos.

Sección Segunda

Ejidos y Comunidades

ARTICULO 55.- La explotación, uso o aprovechamiento de aguas en ejidos y comunidades para el asentamiento humano o para tierras de uso común se efectuarán conforme lo disponga el reglamento que al efecto formule el ejido o comunidad, tomando en cuenta lo dispuesto en el artículo 51.

Quando se hubiere parcelado un ejido o comunidad, corresponde a ejidatarios o comuneros la explotación, uso o aprovechamiento del agua necesaria para el riego de la parcela respectiva.

En ningún caso la asamblea o el comisariado ejidal podrán usar, disponer o determinar la explotación, uso o aprovechamiento de aguas destinadas a las parcelas sin el previo y expreso consentimiento de los ejidatarios titulares de dichas parcelas, excepto cuando se trate de aguas indispensables para las necesidades domésticas del asentamiento humano.

ARTICULO 56.- Cuando la asamblea general del ejido resuelva que los ejidatarios pueden adoptar el dominio pleno de la parcela, se tendrán por transmitidos los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas necesarias para el riego de la tierra parcelada, y precisará las fuentes o volúmenes respectivos, tomando en cuenta los derechos de agua que hayan venido disfrutando. En su caso, establecerá las modalidades o servidumbres requeridas.

La adopción del dominio pleno sobre las parcelas ejidales implica que el ejidatario o comunero explotará, usará o aprovechará las aguas como concesionario, en los términos de la presente ley.

Los ejidatarios que conforme a la Ley Agraria, asuman el dominio pleno sobre sus parcelas conservarán los derechos a explotar, usar o aprovechar las aguas que venían utilizando. "La Comisión" otorgará la concesión correspondiente a solicitud del interesado, sin más requisito que contar con la constancia oficial de la cancelación de la inscripción de la parcela de que se trate.

ARTICULO 57.- Cuando se transmita el dominio de tierras ejidales o de uso común o se aporte el usufructo de parcelas, a sociedades civiles o mercantiles o a cualquier otra persona moral, en los términos de la Ley Agraria, dichas personas o sociedades adquirentes conservarán los derechos sobre la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas correspondientes. "La Comisión", a solicitud del interesado, otorgará la concesión correspondiente en los términos de la presente ley y su reglamento.

Sección Tercera
Unidades de Riego

ARTICULO 58.- Los productores rurales se podrán asociar entre sí libremente para constituir personas morales, con objeto de integrar sistemas que permitan proporcionar servicios de riego agrícola a diversos usuarios, para lo cual constituirán unidades de riego en los términos de esta Sección.

En este caso, la concesión de las aguas nacionales se otorgará a las personas morales que agrupen a dichos usuarios, los cuales recibirán certificados libremente transmisibles de acuerdo con el reglamento de esta ley. Esto último no será obligatorio dentro de los distritos de riego.

ARTICULO 59.- Las personas físicas o morales podrán conformar una persona moral y constituir una unidad de riego que tenga por objeto:

- I.- Construir y operar su propia infraestructura para prestar el servicio de riego a sus miembros;
- II.- Construir obras de infraestructura de riego en coinversión con recursos públicos federales, estatales y municipales y hacerse cargo de su operación, conservación y mantenimiento para prestar el servicio de riego a sus miembros; y
- III.- Operar, conservar, mantener y rehabilitar infraestructura pública federal para irrigación, cuyo uso o aprovechamiento hayan solicitado en concesión a "La Comisión".

ARTICULO 60.- En el título de concesión de aguas nacionales que otorgue "La Comisión" a las unidades de riego se incorporará el permiso de construcción respectivo y, en su caso, la concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de los bienes públicos a los que se refiere el artículo 113.

El estatuto social de la persona moral y el reglamento de las unidades de riego contendrán lo dispuesto en el artículo 51 de la ley y no podrán contravenir lo dispuesto en el título de concesión respectiva.

ARTICULO 61.- En el supuesto a que se refiere la fracción II del artículo 59, las personas morales estarán obligadas a pagar la parte recuperable de la inversión federal conforme a la ley, y a otorgar las garantías que se establezcan para su cumplimiento.

En el mismo supuesto, "La Comisión" emitirá la normatividad para la construcción, conservación y mantenimiento de las obras de infraestructura requeridas por las unidades de riego, y podrá construirlas parcial o totalmente previa

concertación con los productores y, en su caso, con la celebración previa del acuerdo o convenio con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios correspondientes.

ARTICULO 62.- En los supuestos a que se refieren las fracciones II y III del artículo 59, el órgano directivo de las personas morales propondrá a la asamblea general el reglamento de operación y el monto de las cuotas que se requieran.

"La Comisión" podrá revisar las actividades y forma de prestar el servicio de riego, dictar las medidas correctivas e intervenir en la administración en los términos que se deberán establecer en el reglamento de operación.

El reglamento de operación y el monto de las cuotas, así como sus modificaciones, requerirán de la sanción de "La Comisión" para su validez y observancia.

ARTICULO 63.- Las unidades de riego que así lo convengan podrán integrar un distrito de riego.

Independientemente de lo anterior, las unidades de riego se podrán asociar libremente entre sí, para los efectos del artículo 14.

Lo establecido para los distritos de riego se aplicará en lo conducente a las unidades de riego.

Sección Cuarta **Distritos de Riego**

ARTICULO 64.- Los distritos de riego se integrarán con las áreas comprendidas dentro de su perímetro, las obras de infraestructura hidráulica, las aguas superficiales y del subsuelo destinadas a prestar el servicio de suministro de agua, los vasos de almacenamiento y las instalaciones necesarias para su operación y funcionamiento.

Cuando el Gobierno Federal haya participado en el financiamiento, construcción, operación y administración de las obras necesarias para el funcionamiento del distrito, "La Comisión" en un plazo perentorio procederá a entregar la administración y operación del mismo a los usuarios en los términos de esta ley y su reglamento.

ARTICULO 65.- Los distritos de riego serán administrados, operados, conservados y mantenidos por los usuarios de los mismos, organizados en los términos del artículo 51 o por quien éstos designen, para lo cual "La Comisión" concesionará el agua y en su caso, la infraestructura pública necesaria a las personas morales que éstos constituyan al efecto.

Los usuarios del distrito podrán adquirir conforme a lo dispuesto en la ley, la infraestructura de la zona de riego.

ARTICULO 66.- En cada distrito de riego se establecerá un comité hidráulico, cuya organización y operación se determinarán en el reglamento de cada distrito, el cual actuará como órgano colegiado de concertación para un manejo adecuado del agua e infraestructura.

El comité hidráulico propondrá un reglamento del distrito de riego respectivo y vigilará su cumplimiento. El reglamento no podrá contravenir lo dispuesto en la concesión y se someterá a sanción de "La Comisión".

El reglamento del servicio de riego se ajustará a lo dispuesto en el artículo 51.

ARTICULO 67.- En los distritos de riego, los productores rurales tendrán el derecho de recibir el agua para riego al formar parte del padrón de usuarios respectivo, el cual será integrado por "La Comisión" con la información que le proporcionen los usuarios.

Una vez integrado el padrón, será responsabilidad del concesionario mantenerlo actualizado en los términos del reglamento del distrito y se podrá inscribir en el Registro Público de Derechos de Agua.

ARTICULO 68.- Los usuarios de los distritos de riego están obligados a:

- I.- Utilizar el agua y el servicio de riego en los términos del reglamento del distrito; y
- II.- Pagar las cuotas por servicios de riego que se hubieran acordado por los propios usuarios, mismas que deberán cubrir por lo menos los gastos de administración y operación del servicio y los de conservación y mantenimiento de las obras. Dichas cuotas se someterán a la autorización de "La Comisión", la cual las podrá objetar cuando no cumplan con lo anterior

El incumplimiento de lo dispuesto en este artículo será suficiente para suspender la prestación del servicio de riego, hasta que el infractor regularice su situación.

La suspensión por la falta de pago de la cuota por servicios de riego, no podrá decretarse en un ciclo agrícola cuando existan cultivos en pie.

ARTICULO 69.- En ciclos agrícolas en los que por causas de fuerza mayor el agua sea insuficiente para atender la demanda del distrito de riego, la distribución de las aguas disponibles se hará en los términos que se señalen en el reglamento del distrito.

ARTICULO 70.- Las transmisiones totales o parciales de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua dentro de una asociación de usuarios de un distrito de riego, se sujetará a lo dispuesto en el reglamento de la unidad de que se trate.

Las transmisiones totales o parciales de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales entre asociaciones de usuarios de un mismo distrito, se podrán efectuar en los términos del reglamento del distrito

La transmisión total o parcial de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales concesionadas, a personas físicas o morales fuera del distrito, requerirá de la aprobación de la mayoría de la asamblea general de las asociaciones de usuarios del distrito, sujetándose a lo dispuesto en el reglamento de esta ley.

ARTICULO 71.- El Ejecutivo Federal promoverá la organización de los productores rurales y la construcción de la infraestructura necesaria para el establecimiento de distritos de riego.

El establecimiento de un distrito de riego con financiamiento del gobierno federal, se publicará en el Diario Oficial de la Federación y se especificarán:

- I.- Las fuentes de abastecimiento;
- II.- Los volúmenes de aguas superficiales y del subsuelo;
- III.- El perímetro del distrito de riego,
- IV.- El perímetro de la zona o zonas de riego que integren el distrito, y
- V.- Los requisitos para proporcionar el servicio de riego

ARTICULO 72.- Para proceder a la constitución de un distrito de riego, con financiamiento del gobierno federal, "La Comisión":

- I.- Promoverá, en su caso, las vedas necesarias para el buen funcionamiento de las obras;
- II.- Elaborará el plano catastral de tierras y construcciones comprendidas en el distrito;
- III.- Formulará el censo de propietarios o poseedores de tierras y de otros inmuebles, así como la relación de valores fiscales y comerciales que tengan;
- IV.- Realizará las audiencias, concertaciones y las demás acciones previstas en esta ley y su reglamento necesarias para constituir la zona de riego proyectada;

- V.- Promoverá, en su caso, la expropiación por parte del Ejecutivo Federal de las tierras requeridas para hacer las obras hidráulicas de almacenamiento y distribución; y
- VI.- Hará del conocimiento de las autoridades que deban intervenir conforme a su competencia, con motivo de la creación del distrito y, en su caso, de las expropiaciones que se requieran.

ARTICULO 73.- "La Comisión" convocará, en los términos del reglamento, a audiencias con los beneficiarios de la zona de riego proyectada en el distrito para:

- I.- Informar y concertar con los beneficiarios la recuperación de la inversión federal en obras de infraestructura hidráulica, en los términos de la ley;
- II.- Invitar a que las obras requeridas para constituir la zona de riego proyectada sean ejecutadas por los beneficiarios con sus propios recursos; y
- III.- Acordar la organización de los usuarios de la zona de riego y la forma en que los beneficiarios coadyuvarán en la solución de los problemas de los afectados por las obras hidráulicas y el reacomodo de los mismos.

En caso de que en las audiencias a que se refiere el presente artículo, dentro del año siguiente a la fecha de publicación de la creación del distrito de riego, no se logre la concertación para que con inversión privada y social se construya la zona de riego de todo el distrito, se podrá realizar la misma con inversión pública, previa la expropiación de la tierra que sea necesaria para constituir la zona de riego proyectada.

Igualmente se podrá proceder a la expropiación de las tierras, si antes del año a que se refiere el párrafo anterior, los futuros beneficiarios que representen las cuatro quintas partes de la superficie de riego proyectada así lo soliciten al Ejecutivo Federal.

ARTICULO 74.- La indemnización que proceda por la expropiación de las tierras se cubrirá en efectivo.

A solicitud del afectado por las obras públicas federales, la indemnización se podrá cubrir mediante compensación en especie por un valor equivalente de tierras de riego por cada uno de los afectados, en los términos de ley, y el resto de la indemnización, si la hubiere, se cubrirá en efectivo.

"La Comisión", en su caso, en coordinación con las autoridades competentes, proveerá y apoyará el establecimiento de los poblados necesarios para compensar los bienes afectados por la construcción de las obras.

ARTICULO 75.- Los distritos de riego podrán:

- I.- Interconectarse o fusionarse con otro u otros distritos o unidades de riego, en cuyo caso "La Comisión" proporcionará los apoyos que se requieran, conservando en estos casos su naturaleza de distritos de riego;
- II.- La escisión en dos o más unidades de riego, de conformidad con lo dispuesto en el reglamento del distrito, en cuyo caso "La Comisión" concertará las acciones y medidas necesarias para proteger los derechos de los usuarios; y
- III.- Cambiar totalmente el uso del agua, previa autorización de "La Comisión".

Sección Quinta

Drenaje Agrícola

ARTICULO 76.- El Ejecutivo Federal, por conducto de "La Comisión" y con la participación de los productores, promoverá y fomentará el establecimiento de unidades de drenaje a efecto de incrementar la producción agropecuaria.

El acuerdo de creación de la unidad de drenaje se publicará en el Diario Oficial de la Federación. En dicho acuerdo se señalarán el perímetro que la delimite, la descripción de las obras y los derechos y obligaciones de los beneficiarios por los servicios que se presten con dichas obras.

ARTICULO 77.- En las unidades de drenaje que cuenten con infraestructura hidráulica federal, los beneficiarios de la misma podrán organizarse y constituirse en personas morales con el objeto de que, por cuenta y en nombre de "La Comisión", realicen la operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura y cobren por superficie beneficiada las cuotas destinadas a tal objeto. Igualmente, podrán cobrar las cuotas que se determinen en la ley para la recuperación de la inversión o, en su defecto, se convengan con los usuarios, quienes estarán obligados a cubrir dichos pagos.

Los adeudos por los servicios de operación, conservación y mantenimiento que realice "La Comisión" directamente o a través de terceros, así como las cuotas para recuperar la inversión, tendrán el carácter de créditos fiscales para su cobro

"La Comisión" brindará la asesoría técnica necesaria a las unidades de drenaje y, en su caso, otorgará las concesiones para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales y de los bienes públicos inherentes.

Lo establecido para las unidades de riego será aplicable, en lo conducente, a las unidades de drenaje.

CAPITULO III.

Uso en Generación de Energía Eléctrica

ARTICULO 78.- "La Comisión", con base en los estudios, los planes generales sobre aprovechamiento de los recursos hidráulicos del país y la programación hidráulica a que se refiere la presente ley, en los volúmenes de agua disponibles otorgará sin mayor trámite el título de asignación de agua a favor de la Comisión Federal de Electricidad, en el cual se determinará el volumen destinado a la generación de energía eléctrica y enfriamiento de plantas, así como las causas por las cuales podrá terminar la asignación.

"La Comisión" realizará la programación periódica de extracción del agua en cada corriente, vaso, lago, laguna o depósito de propiedad nacional, y de su distribución, para coordinar el aprovechamiento hidroeléctrico con los demás usos del agua.

Los estudios y la planeación que realice la Comisión Federal de Electricidad respecto de los aprovechamientos hidráulicos destinados a la generación de energía eléctrica, una vez aprobados por "La Comisión", formarán parte de los planes generales sobre aprovechamiento de los recursos hidráulicos del país. Igualmente, los estudios y planes que en materia hidráulica realice "La Comisión", podrán integrarse a los planes generales para el aprovechamiento de la energía eléctrica del país. En la programación hidráulica que realice "La Comisión" y que se pueda aprovechar para fines hidroeléctricos, se dará la participación que corresponda a la Comisión Federal de Electricidad en los términos de la ley aplicable en la materia.

ARTICULO 79.- El Ejecutivo Federal determinará si las obras hidráulicas correspondientes al sistema hidroeléctrico deberán realizarse por "La Comisión" o por la Comisión Federal de Electricidad.

"La Comisión" podrá utilizar o concesionar la infraestructura a su cargo para generar la energía eléctrica que requiera, y también podrá disponer del excedente, en los términos de la ley aplicable conforme a la materia

ARTICULO 80.- Las personas físicas o morales deberán solicitar concesión a "La Comisión" cuando requieran de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales con el objeto de generar energía eléctrica, en los términos de la ley aplicable en la materia.

No se requerirá concesión, en los términos del reglamento, para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales en pequeña escala para generación hidroeléctrica conforme a la ley aplicable en la materia.

ARTICULO 81.- La explotación, el uso o aprovechamiento de aguas del subsuelo en estado de vapor o con temperatura superior a ochenta grados centígrados, cuando se pueda afectar un acuífero requerirán de la previa asignación o concesión para generación geotérmica u otros usos.

CAPITULO IV

Uso en Otras Actividades Productivas

ARTICULO 82.- La explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales en actividades industriales, de acuacultura, turismo y otras actividades productivas, se podrá realizar por personas físicas o morales previa la concesión respectiva otorgada por "La Comisión" en los términos de la presente ley y su reglamento

"La Comisión" en coordinación con la Secretaría de Pesca, otorgará facilidades para el desarrollo de la acuacultura y el otorgamiento de las concesiones de agua necesarias, asimismo apoyará, a solicitud de los interesados, el aprovechamiento acuícola en la infraestructura hidráulica federal, que sea compatible con su explotación, uso o aprovechamiento.

Las actividades de acuacultura efectuadas en sistemas suspendidos en aguas nacionales, en tanto no se desvíen los cauces y siempre que no se afecten la calidad del agua, la navegación, otros usos permitidos y los derechos de terceros, no requerirán de concesión.

CAPITULO V

Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones

ARTICULO 83.- "La Comisión", en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con personas físicas o morales, podrá construir y operar, según sea el caso, las obras para el control de avenidas y protección de zonas inundables, así como caminos y obras complementarias que hagan posible el mejor aprovechamiento de las tierras y la protección a centros de población, industriales y, en general, a las vidas de las personas y de sus bienes, conforme a las disposiciones del Título Octavo.

"La Comisión", en los términos del reglamento, clasificará las zonas en atención a sus riesgos de posible inundación, emitirá las normas y recomendaciones necesarias, establecerá las medidas de operación, control y seguimiento y aplicará los fondos de contingencia que se integren al efecto.

ARTICULO 84.- "La Comisión" determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas y tomará las medidas necesarias para dar seguimiento a fenómenos climatológicos extremos, promoviendo o realizando las acciones preventivas que se requieran; asimismo, realizará las acciones necesarias que al efecto acuerde su Consejo Técnico para atender las zonas de emergencia hidráulica o afectadas por fenómenos climatológicos extremos, en coordinación con las autoridades competentes.

TITULO SEPTIMO
PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION
DE LAS AGUAS
Capítulo Unico

ARTICULO 85.- Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley

ARTICULO 86.- "La Comisión" tendrá a su cargo:

- I.- Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga, en los términos de ley;
- II.- Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua;
- III.- Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;
- IV.- Autorizar, en su caso, el vertido de aguas residuales en el mar, y en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas;
- V.- Vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad del agua emitidas para tal efecto;
- VI.- Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas, y lodos producto de los tratamientos de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo y los bienes que señala el artículo 113; y

- VII.- 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, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, salvo que corresponda a otra dependencia conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

ARTICULO 87.- "La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, las cuales se publicarán en el Diario Oficial de la Federación, lo mismo que sus modificaciones, para su observancia.

Las declaratorias contendrán.

- I.- La delimitación del cuerpo de agua clasificado;
- II.- Los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los periodos previstos en el reglamento de esta ley;
- III.- La capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes; y
- IV.- Los límites máximos de descarga de los contaminantes analizados, base para fijar las condiciones particulares de descarga.

ARTICULO 88.- Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos

"La Comisión" mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o por usos podrá sustituir el permiso de descarga de aguas residuales por un simple aviso.

El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

ARTICULO 89.- "La Comisión", para otorgar los permisos deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales a que se refiere el artículo 87, las normas oficiales mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requiera cumplir la descarga.

"La Comisión" deberá contestar la solicitud de permiso de descarga presentada en los términos del reglamento, dentro de los sesenta días hábiles siguientes a su admisión. En caso de que no se conteste dentro de dicho lapso, estando integrado debidamente el expediente el solicitante podrá efectuar las descargas en los términos solicitados, lo cual no será obstáculo para que "La Comisión" expida el permiso de descarga al que se deberá sujetar el permisionario cuando considere que se deben de fijar condiciones particulares de descarga y requisitos distintos a los contenidos en la solicitud.

Cuando el vertido o descarga de las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua potable o a la salud pública, "La Comisión" lo comunicará a la autoridad competente y dictará la negativa del permiso correspondiente o su inmediata revocación y, en su caso, la suspensión del suministro del agua en tanto se eliminan estas anomalías.

ARTICULO 90.- "La Comisión" en los términos del reglamento expedirá el permiso de descarga de aguas residuales, en el cual se deberá precisar por lo menos la ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad, el régimen al que se sujetará para prevenir y controlar la contaminación del agua y la duración del permiso.

Cuando las descargas de aguas residuales se originen por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, los permisos de descarga tendrán, por lo menos, la misma duración que el título de concesión o asignación correspondiente y se sujetarán a las mismas reglas sobre la prórroga o terminación de aquéllas.

Los permisos de descarga se podrán transmitir en los términos del Capítulo V, Título Cuarto, siempre y cuando se mantengan las características del permiso.

ARTICULO 91.- La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan.

ARTICULO 92.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales:

- I.- Cuando no se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta ley;
- II.- Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las normas oficiales mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta ley y su reglamento;
- III.- Cuando se deje de pagar el derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; o

IV.- Cuando el responsable de la descarga utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga.

La suspensión será sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que se hubiera podido incurrir.

Sin perjuicio de lo anterior, cuando exista riesgo de daño o peligro para la población o los ecosistemas, "La Comisión" a solicitud de autoridad competente podrá realizar las acciones y obras necesarias para evitarlo, con cargo a quien resulte responsable.

ARTICULO 93.- Son causas de revocación del permiso de descarga de aguas residuales:

- I.- Efectuar la descarga en un lugar distinto del autorizado por "La Comisión";
- II.- Realizar los actos u omisiones que se señalan en las fracciones II, III y IV del artículo anterior, cuando con anterioridad se hubieren suspendido las actividades del permisionario por "La Comisión" por la misma causa; o
- III.- La revocación de la concesión o asignación de aguas nacionales, cuando con motivo de dicho título sean éstas las únicas que con su explotación, uso o aprovechamiento originen la descarga de aguas residuales.

Cuando proceda la revocación, "La Comisión", previa audiencia al interesado, dictará y notificará la resolución respectiva, la cual deberá estar debidamente fundada y motivada.

El permiso de descarga de aguas residuales caducará cuando en los términos de la presente ley caduque el título de concesión o asignación de las aguas nacionales origen de la descarga.

ARTICULO 94.- Cuando la paralización de una planta de tratamiento de aguas residuales pueda ocasionar graves perjuicios a la salud o la seguridad de la población o graves daños al ecosistema, "La Comisión", a solicitud de autoridad competente y por razones de interés público, ordenará la suspensión de las actividades que originen la descarga y, cuando esto no fuera posible o conveniente, nombrará un interventor para que se haga cargo de la administración y operación temporal de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, hasta que se suspendan las actividades o se considere superada la gravedad de la descarga

Los gastos que dicha intervención ocasione serán con cargo al titular o titulares del permiso de descarga.

En caso de no cubrirse dentro de los quince días hábiles siguientes a su requerimiento por "La Comisión", los gastos tendrán el carácter de crédito fiscal para su cobro.

ARTICULO 95.- "La Comisión", en el ámbito de la competencia federal, realizará la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la ley. Los resultados de dicha fiscalización o inspección se harán constar en acta circunstanciada, producirán todos los efectos legales y podrán servir de base para que "La Comisión" y las demás dependencias de la Administración Pública Federal competentes, puedan aplicar las sanciones respectivas previstas en la ley.

ARTICULO 96.- En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y su reglamento.

"La Comisión" promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca o acuífero.

TITULO OCTAVO

INVERSION EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTICULO 97.- Los usuarios de las aguas nacionales podrán realizar, por sí o por terceros, cualesquiera obra de infraestructura hidráulica que se requieran para su explotación, uso o aprovechamiento.

La administración y operación de estas obras serán responsabilidad de los usuarios o de las asociaciones que formen al efecto, independientemente de la explotación, uso o aprovechamiento que se efectúe de las aguas nacionales.

ARTICULO 98.- Cuando con motivo de dichas obras se pudiera afectar el régimen hidráulico e hidrológico de los cauces o vasos propiedad nacional o de las zonas federales correspondientes, y en los casos de perforación de pozos en zonas reglamentadas o de veda se requerirá del permiso en los términos de los artículos 23 y 42 de esta ley y su reglamento.

En estos casos, "La Comisión" podrá expedir las normas oficiales mexicanas que se requieran o las que le soliciten los usuarios. Igualmente, supervisará la construcción de las obras, y podrá en cualquier momento adoptar las medidas correctivas que sea necesario ejecutar para garantizar el cumplimiento del permiso y de dichas normas.

ARTICULO 99.- "La Comisión" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación.

"La Comisión" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosostenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios.

ARTICULO 100.- "La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o pongan en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes.

ARTICULO 101.- "La Comisión" realizará por sí o por terceros las obras públicas federales de infraestructura hidráulica que se desprendan de los programas de inversión a su cargo, conforme a la ley y disposiciones reglamentarias. Igualmente, podrá ejecutar las obras que se le soliciten y que se financien total o parcialmente con recursos distintos de los federales.

En caso de que la inversión se realice total o parcialmente con recursos federales, o que la infraestructura se construya mediante créditos avalados por el Gobierno Federal, "La Comisión" en el ámbito de su competencia establecerá las normas, características y requisitos para su ejecución y supervisión, salvo que por ley correspondan a otra dependencia o entidad.

CAPITULO II

Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales

ARTICULO 102.- Se considera de interés público la promoción y fomento de la participación de los particulares en el financiamiento, construcción y operación de infraestructura hidráulica federal, así como en la prestación de los servicios respectivos.

Para tal efecto, "La Comisión" podrá:

- I.- Celebrar con particulares contratos de obra pública y servicios con la modalidad de inversión recuperable, para la construcción, equipamiento y operación de infraestructura hidráulica federal, pudiendo quedar a cargo de una empresa la responsabilidad integral de la obra y su operación, en los términos del Reglamento;
- II.- Otorgar concesión total o parcial para operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal y la prestación de los servicios respectivos; y
- III.- Otorgar concesión total o parcial para construir, equipar y operar la infraestructura hidráulica federal y para prestar el servicio respectivo.

Para el trámite, duración, regulación y terminación de la concesión a la que se refiere la fracción II, se aplicará en lo conducente lo dispuesto en esta ley para las concesiones de explotación, uso o aprovechamiento de agua y lo que disponga el reglamento. Los usuarios de dicha infraestructura tendrán preferencia en el otorgamiento de dichas concesiones.

ARTICULO 103.- Las concesiones a que se refiere la fracción III del artículo anterior, se sujetarán a lo dispuesto en el presente capítulo y al reglamento.

"La Comisión" fijará las bases mínimas para la participación en el concurso para obtener las concesiones a que se refiere este capítulo, en los términos de esta ley y su reglamento. La selección entre las empresas participantes en el concurso se hará en base a las tarifas mínimas que respondan a los criterios de seriedad, confiabilidad y calidad establecidas en las bases que para cada caso expida "La Comisión".

Los derechos y obligaciones de los concesionarios, se establecerán, en su caso, en el reglamento o en el título respectivo.

ARTICULO 104.- Las tarifas mínimas a que se refiere el artículo anterior, conforme a las bases que emita "La Comisión" deberán:

- I.- Propiciar el uso eficiente del agua, la racionalización de los patrones de consumo y, en su caso, inhibir actividades que impongan una demanda excesiva;
- II.- Prever los ajustes necesarios en función de los costos variables correspondientes, conforme a los indicadores conocidos y medibles que establezcan las propias bases; y
- III.- Considerar un período establecido, que en ningún momento será menor que el período de recuperación del costo del capital o del cumplimiento de las obligaciones financieras que se contraigan con motivo de la concesión.

El término de la concesión no podrá exceder de cincuenta años.

ARTICULO 105.- "La Comisión", en los términos del Reglamento, podrá autorizar que el concesionario otorgue en garantía los derechos de los bienes concesionados a que se refiere el presente capítulo, y precisará en este caso los términos y modalidades respectivas.

Las garantías se otorgarán por un término que en ningún caso comprenderá la última décima parte del total del tiempo por el que se haya otorgado la concesión.

ARTICULO 106.- Si durante la décima parte del tiempo que precede a la fecha de vencimiento de la concesión, el concesionario no mantiene la infraestructura en buen estado, "La Comisión" nombrará un interventor que vigie o se encargue de mantener la infraestructura al corriente, para que se proporcione un servicio eficiente y no se menoscabe la infraestructura hidráulica.

ARTICULO 107.- La concesión sólo terminará por:

- I.- Vencimiento del plazo establecido en el título o renuncia del titular.

II.- Revocación por incumplimiento en los siguientes casos:

- a). No ejecutar las obras o trabajos objeto de la concesión en los términos y condiciones que señale la ley y su reglamento;
- b). Dejar de pagar las contribuciones o aprovechamientos que establezca la legislación fiscal por el uso o aprovechamiento de la infraestructura y demás bienes o servicios concesionados;
- c). Transmitir los derechos del título u otorgar en garantía los bienes concesionados, sin contar con la autorización de "La Comisión"; o
- d). Prestar en forma deficiente o irregular el servicio, o la construcción, operación, conservación o mantenimiento, o su suspensión definitiva, por causas imputables al concesionario, cuando con ello se pueda causar o se causen perjuicios o daños graves a los usuarios o a terceros

III.- Rescate de la concesión por causa de utilidad pública o interés público mediante pago de la indemnización respectiva, fijada por pentos en los términos del reglamento, garantizando en todo caso que la misma sea equivalente por lo menos a la recuperación pendiente de la inversión efectuada y la utilidad razonable convenida en los términos de la concesión, o

IV.- Resolución Judicial.

En los casos a que se refiere la fracción II, las obras o infraestructura construidas, así como sus mejoras y accesiones y los bienes necesarios para la continuidad del servicio, se entregarán en buen estado, sin costo alguno y libres de todo gravamen o limitaciones, para pasar al dominio de la Nación, con los accesorios y demás bienes necesarios para continuar la explotación o la prestación del servicio.

ARTICULO 108.- La recuperación total o parcial de la inversión privada o social se podrá efectuar mediante el suministro de agua para usos múltiples, incluyendo la venta de energía eléctrica en los términos de la ley aplicable en la materia

Las obras públicas de infraestructura hidráulica o los bienes necesarios para su construcción u operación se podrán destinar a fideicomisos, establecidos en instituciones de crédito, para que, a través de la administración y operaciones sobre el uso o aprovechamiento de dichas obras, se facilite la recuperación de la inversión efectuada. Una vez cumplido el objeto del fideicomiso deberán revertir al Gobierno Federal, en caso contrario, se procederá a su desincorporación en los términos de la ley aplicable en la materia.

CAPITULO III

Recuperación de Inversión Pública

ARTICULO 109.- Las inversiones públicas en obras hidráulicas federales se recuperarán en la forma y términos que señale la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, mediante el establecimiento de cuotas que deberán cubrir las personas beneficiadas en forma directa del uso, aprovechamiento o explotación de dichas obras

ARTICULO 110.- La operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica se efectuarán con cargo a los usuarios de los servicios respectivos. Las cuotas se determinarán con base en los costos de los servicios, previa la valuación de dichos costos en los términos de eficiencia económica; igualmente, se tomarán en consideración criterios de eficiencia económica y saneamiento financiero de la entidad o unidad prestadora del servicio.

ARTICULO 111.- En los distritos de riego y en las unidades de riego o drenaje, se podrá otorgar como garantía la propiedad de las tierras o, en caso de ejidatarios o comuneros, el derecho de uso o aprovechamiento de la parcela, en los términos de la Ley Agraria, para asegurar la recuperación de las inversiones en las obras y del costo de los servicios de riego o de drenaje respectivos.

CAPITULO IV

Cobro por Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales y Bienes Nacionales

ARTICULO 112.- La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, incluyendo las del subsuelo, así como de los bienes nacionales que administre "La Comisión", motivará el pago por parte del usuario de las cuotas que establece la Ley Federal de Derechos.

La explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales motivará el pago del derecho que establece la Ley Federal de Derechos. El pago es independiente del cumplimiento de lo dispuesto en esta ley sobre la prevención y control de la calidad del agua; de lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; y en la Ley General de Salud.

TITULO NOVENO

BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISION"

Capitulo Unico

ARTICULO 113.- La administración de los siguientes bienes nacionales queda a cargo de "La Comisión":

- I.- Las playas y zonas federales, en la parte correspondiente a los cauces de corrientes en los términos de la presente ley;
- II.- Los terrenos ocupados por los vasos de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales cuyas aguas sean de propiedad nacional;
- III.- Los cauces de las corrientes de aguas nacionales;
- IV.- Las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, en los términos previstos por el artículo 3o. de esta ley;
- V.- Los terrenos de los cauces y los de los vasos de lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, descubiertos por causas naturales o por obras artificiales;
- VI.- Las islas que existen o que se formen en los vasos de lagos, lagunas, esteros, presas y depósitos o en los cauces de corrientes de propiedad nacional, excepto las que se formen cuando una corriente segregue terrenos de propiedad particular, ejidal o comunal; y
- VII.- Las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el Gobierno Federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, en la extensión que en cada caso fije "La Comisión".

En los casos de la fracciones IV, V y VII la administración de los bienes, cuando corresponda, se llevará a cabo en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad.

ARTICULO 114.- Cuando por causas naturales ocurra un cambio definitivo en el curso de una corriente propiedad de la Nación, ésta adquirirá por ese solo hecho la propiedad del nuevo cauce y de su zona federal.

Cuando por causas naturales ocurra un cambio definitivo en el nivel de un lago, laguna, estero o corriente de propiedad nacional y el agua invada tierras, éstas, la zona federal y la zona federal marítimo-terrestre correspondiente, pasarán al dominio público de la Federación. Si con el cambio definitivo de dicho nivel se descubren tierras, éstas pasarán previo decreto de desincorporación del dominio público al privado de la Federación.

En caso de que las aguas superficiales tiendan a cambiar de vaso o cauce, los propietarios de los terrenos aledaños tendrán el derecho de construir las obras de defensa necesarias. En caso de cambio consumado, tendrán el derecho de construir obras de rectificación, dentro del plazo de un año contado a partir de la fecha del cambio. Para proceder a la construcción de defensas o de rectificación bastará que se dé aviso por escrito a "La Comisión", la cual podrá suspender u ordenar la corrección de dichas obras en el caso de que se causen o puedan causarse daños a terceros.

ARTICULO 115.- Cuando por causas naturales ocurra un cambio definitivo en el curso de una corriente de propiedad nacional, los propietarios afectados por el cambio de cauce tendrán el derecho de recibir, en sustitución, la parte proporcional de la superficie que quede disponible fuera de la ribera o zona federal, tomando en cuenta la extensión de tierra en que hubieran sido afectados.

En su defecto, los propietarios ribereños del cauce abandonado podrán adquirir hasta la mitad de dicho cauce en la parte que quede al frente de su propiedad o la totalidad si en el lado contrario no hay ribereño interesado.

A falta de afectados o de propietarios ribereños interesados, los terceros podrán adquirir la superficie del cauce abandonado

En cualquier caso, la desincorporación del dominio público se efectuará previamente

ARTICULO 116.- Los terrenos ganados por medios artificiales al encauzar una corriente o al limitar o desecar parcial o totalmente un vaso de propiedad nacional, pasarán del dominio público al privado de la Federación mediante decreto de desincorporación. Las obras de encauzamiento o limitación se considerarán como parte integrante de los cauces y vasos correspondientes, y de la zona federal y de la zona de protección respectivas, por lo que estarán sujetas al dominio público de la Federación.

ARTICULO 117.- Por causas de interés público, el Ejecutivo Federal, a través de "La Comisión", podrá reducir o suprimir mediante declaratoria la zona federal de corrientes, lagos y lagunas de propiedad nacional, así como la zona federal de la infraestructura hidráulica, en las porciones comprendidas dentro del perímetro de las poblaciones.

Las entidades federativas y los municipios o en su caso los particulares interesados en los terrenos a que se refiere este artículo, deberán realizar previamente las obras de control y las que sean necesarias para reducir o suprimir la zona federal.

"La Comisión" podrá convenir con los gobiernos de las entidades federativas o municipios, o en su caso con los particulares interesados, por asignación o por subasta pública, que éstos se hagan cargo de la custodia, conservación y mantenimiento de dichos bienes.

ARTICULO 118.- Los bienes nacionales a que se refiere el presente Título cuya administración esté a cargo de "La Comisión", podrán explotarse, usarse o aprovecharse, incluso los materiales de construcción localizados en los mismos, por personas físicas o morales, previas las concesiones que "La Comisión" otorgue para tal efecto.

A las concesiones a que se refiere el presente artículo se les aplicará en lo conducente para su trámite, duración, regulación y terminación lo dispuesto en esta ley para las concesiones de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales y lo que se señala en el reglamento. La concesión terminará en los casos previstos en el artículo 27, cuando la explotación, el uso o aprovechamiento de bienes nacionales se hubiere otorgado con motivo de la concesión o asignación de aguas nacionales.

Independientemente de la existencia de dotaciones, restituciones o accesiones de tierras y aguas a los núcleos de población, se requerirá de la concesión a que se refiere la presente ley cuando se ocupen o exploten materiales de construcción localizados en cauces, vasos y zonas federales.

Para el otorgamiento de las concesiones de la zona federal a que se refiere este artículo, en igualdad de circunstancias, fuera de las zonas urbanas y para fines productivos, tendrá preferencia el propietario o poseedor colindante a dicha zona federal.

TITULO DECIMO

INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS

CAPITULO I

Infracciones y Sanciones Administrativas

ARTICULO 119.- "La Comisión" sancionará, conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas:

- I.- Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o el acuífero, sin perjuicio de las sanciones que fijen las disposiciones sanitarias y de equilibrio ecológico y protección al ambiente;
- II.- Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales residuales sin cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia de calidad y condiciones particulares establecidas para tal efecto;
- III.- Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales en volúmenes mayores que los que corresponden a los usuarios conforme a los títulos respectivos o a las inscripciones realizadas en el Registro Público de Derechos de Agua;
- IV.- Ocupar vasos, cauces, canales, zonas federales, zonas de protección y demás bienes a que se refiere el artículo 113, sin concesión de "La Comisión";
- V.- Alterar la infraestructura hidráulica autorizada para la explotación, uso o aprovechamiento del agua, o su operación, sin permiso de "La Comisión";
- VI.- No acondicionar las obras o instalaciones en los términos establecidos en los reglamentos o en las demás normas o disposiciones que dicte la autoridad competente para prevenir efectos negativos a terceros o al desarrollo hidráulico de las fuentes de abastecimiento o de la cuenca;
- VII.- No instalar los dispositivos necesarios para el registro o medición de la cantidad y calidad de las aguas, en los términos que establece esta ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, o modificar o alterar las instalaciones y equipos para medir los volúmenes de agua utilizados, sin permiso de "La Comisión";

- VIII.- Explotar, usar o aprovechar aguas nacionales sin el título respectivo, cuando así se requiere en los términos de la presente ley, así como modificar o desviar los cauces, vasos o corrientes, cuando sean propiedad nacional, sin permiso de "La Comisión" o cuando se dañe o destruya una obra hidráulica de propiedad nacional;
- IX.- Ejecutar para sí o para un tercero obras para alumbrar, extraer o disponer de aguas del subsuelo en zonas reglamentadas, de veda o reservadas, sin el permiso de "La Comisión" así como a quien hubiere ordenado la ejecución de dichas obras;
- X.- Impedir las visitas, inspecciones y reconocimientos que realice "La Comisión" en los términos de esta ley de su reglamento;
- XI.- No entregar los datos requeridos por "La Comisión" para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta ley y en los títulos de concesión, asignación o permiso;
- XII.- Utilizar volúmenes de agua mayores que los que generan las descargas de aguas residuales para diluir y así tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia ecológica o las condiciones particulares de descarga;
- XIII.- Suministrar aguas nacionales para consumo humano que no cumplan con las normas de calidad correspondientes;
- XIV.- Arrojar o depositar, en contravención a la ley, basura, sustancias tóxicas peligrosas y lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, en ríos, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, o infiltrar materiales y sustancias que contaminen las aguas del subsuelo;
- XV.- No cumplir con las obligaciones consignadas en los títulos de concesión, asignación o permiso;
- XVI.- No solicitar el concesionario o asignatario la inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua en los términos previstos en la presente ley y su reglamento;
- XVII.- Desperdiciar el agua ostensiblemente, en contravención a lo dispuesto en la ley y el reglamento, y
- XVIII.- Incurrir en cualquier otra violación a los preceptos de esta ley y su reglamento, distinta de las anteriores.

ARTICULO 120.- Las faltas a que se refiere el artículo anterior serán sancionadas administrativamente por "La Comisión", con multas que serán equivalentes a los siguientes días de salario mínimo general vigente en el área geográfica y en el momento en que se cometa la infracción:

- I.- 50 a 500, en el caso de violación a las fracciones VI, XI, XV y XVIII;
- II.- 100 a 1000, en el caso de violación a las fracciones II, III, IV, VII, X, XVI y XVII; y
- III.- 500 a 10 000, en el caso de violación a las fracciones I, V, VIII, IX, XII, XIII y XIV.

En los casos previstos en la fracción IX del artículo anterior, los infractores perderán en favor de la Nación las obras de alumbramiento y aprovechamiento de aguas y se retendrá o conservará en depósito o custodia la maquinaria y equipo de perforación, hasta que se cubran los daños ocasionados.

ARTICULO 121.- Para sancionar las faltas a que se refiere este capítulo, las infracciones se calificarán tomando en consideración:

- I.- La gravedad de la falta,
- II.- Las condiciones económicas del infractor; y
- III.- La reincidencia. . .

Si una vez vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieren cometido, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas exceda del monto máximo permitido conforme al artículo anterior.

En el caso de reincidencia, el monto de la multa podrá ser hasta por dos veces el monto originalmente impuesto, sin que exceda del doble del máximo permitido.

ARTICULO 122.- En los casos de las fracciones I, IV, VIII, IX y XII del artículo 119, así como en los casos de reincidencia en cualquiera de las fracciones del artículo citado, "La Comisión" podrá imponer adicionalmente la clausura temporal o definitiva, parcial o total de los pozos y de las obras o tomas para la extracción o aprovechamiento de aguas nacionales.

Igualmente, "La Comisión" podrá imponer la clausura en el caso de

- I.- Incumplimiento de la orden de suspensión de actividades o suspensión del permiso de descarga de aguas residuales a que se refiere el artículo 92, caso en el cual podrá clausurar definitiva o temporalmente la empresa o establecimiento causantes directos de la descarga; y
- II.- Explotación, uso o aprovechamiento ilegal de aguas nacionales a través de infraestructura hidráulica sin contar con el permiso que se requiera conforme a lo previsto en la presente ley, o en el caso de pozos clandestinos o ilegales.

En el caso de clausura, el personal designado por "La Comisión" para llevarla a cabo, procederá a levantar el acta circunstanciada de la diligencia; si el infractor se rehúsa a firmarla, ello no invalidará dicha acta, y se deberá asentar tal situación, ante dos testigos designados por el interesado o en su ausencia o negativa por "La Comisión"

Para ejecutar una clausura, "La Comisión" podrá solicitar el apoyo y el auxilio de las autoridades federales, estatales o municipales, así como de los cuerpos de seguridad pública, para que intervengan en el ámbito de sus atribuciones y competencia.

En el caso de ocupación de vasos, cauces, zonas federales y demás bienes nacionales inherentes a que se refiere la presente ley, mediante la construcción de cualquier tipo de obra o infraestructura, sin contar con el título correspondiente, "La Comisión" queda facultada para remover o demoler las mismas con cargo al infractor, sin perjuicio de las sanciones que correspondan.

ARTICULO 123.- Las sanciones que procedan por las faltas previstas en esta ley tendrán destino específico en favor de "La Comisión" y se impondrán sin perjuicio de las multas por infracciones fiscales y de la aplicación de las sanciones por la responsabilidad penal que resulte.

Ante el incumplimiento de las disposiciones y en los términos de la presente ley, "La Comisión" notificará los adeudos que tengan las personas físicas o morales con motivo de la realización de obras o la destrucción de las mismas que "La Comisión" efectúe por su cuenta.

Los ingresos a que se refiere el presente artículo tendrán el carácter de crédito fiscal para su cobro.

CAPITULO II

Recurso de Revisión

ARTICULO 124.- Contra los actos o resoluciones definitivas de "La Comisión" que causen agravio a particulares, éstos podrán interponer recurso de revisión dentro del plazo de quince días hábiles siguientes a la fecha de su notificación. La interposición del recurso será optativa para el interesado.

El recurso tiene por objeto revocar, modificar, o confirmar la resolución reclamada y los fallos que se dicten contendrán la fijación del acto impugnado, los fundamentos legales en que se apoye y los puntos de resolución. El reglamento de la presente ley establecerá los términos y demás requisitos para la tramitación y sustanciación del recurso.

La interposición del recurso se hará por escrito dirigido al titular de "La Comisión", en el que se deberán expresar el nombre y domicilio del recurrente y los agravios, acompañándose los elementos de prueba que se considere necesarios, así como las constancias que acrediten la personalidad del promovente.

Si se recurre la imposición de una multa, se suspenderá el cobro de ésta hasta que sea resuelto el recurso, siempre y cuando se garantice su pago en los términos previstos por las disposiciones fiscales.

Si se interpone recurso contra actos o resoluciones que emita "La Comisión" en materia fiscal conforme a la presente ley, será resuelto por ésta en los términos del Código Fiscal de la Federación y de su reglamento.

TRANSITORIOS

ARTICULO PRIMERO.- La presente ley entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO SEGUNDO.- Se derogan:

- I.- La Ley Federal de Aguas, publicada el 11 de enero de 1972 en el Diario Oficial de la Federación; y
- II.- Todas las disposiciones que se opongan al presente ordenamiento

ARTICULO TERCERO.- Las declaratorias de aguas nacionales que se hayan expedido, así como las vedas, reglamentaciones y reservas relativas a aguas nacionales decretadas por el Ejecutivo Federal, seguirán produciendo sus efectos legales.

ARTICULO CUARTO.- Las concesiones, asignaciones o permisos que se hubieren otorgado conforme a la Ley Federal de Aguas que se deroga, continuarán vigentes en los términos del título respectivo y se deberán inscribir en el Registro Público de Derechos de Agua conforme a lo dispuesto en la ley.

Los títulos se podrán transmitir en los términos previstos en la presente ley.

ARTICULO QUINTO.- Los títulos de concesión o asignación expedidos con anterioridad a la entrada en vigor de la presente ley, cuando "La Comisión" encuentre que los datos consignados son erróneos o no corresponden al volumen del aprovechamiento del agua, lo comunicará a su titular para que dentro de un plazo de treinta días naturales manifieste lo que a su derecho convenga y proporcione los datos y documentos que le sean requeridos.

"La Comisión" dictará resolución en un plazo no mayor a tres meses, con base en la contestación del interesado y las constancias del expediente y de proceder, ordenará la corrección del título, así como su inscripción en el Registro Público de Derechos de Agua.

ARTICULO SEXTO.- Las solicitudes en trámite para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas de propiedad nacional o del subsuelo en zonas vedadas o reglamentadas, se resolverán en los términos de esta ley.

Los trámites de cualquier naturaleza pendientes de resolución a la fecha de inicio de vigencia de esta ley se sustanciarán, en lo que sea favorable a los interesados, conforme a las disposiciones de la misma.

ARTICULO SEPTIMO.- Las autorizaciones precarias que se hubieran otorgado con anterioridad a la entrada en vigor de esta ley, se regularán por las disposiciones legales o reglamentarias vigentes en el momento de su expedición.

Sin perjuicio de lo anterior, los titulares de autorizaciones precarias expedidas por "La Comisión", que hayan utilizado las aguas nacionales durante los cinco años anteriores a la fecha de entrada en vigor de esta ley, podrán inscribirse en el Registro Público de Derechos de Agua conforme al procedimiento que se señale en el reglamento de esta ley.

Las autorizaciones precarias inscritas en el Registro Público de Derechos de Agua, darán derecho a sus titulares a explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales por un período que no será mayor a diez años contados a partir de la entrada en vigor de la presente ley. Los titulares deberán ejercer los derechos y cumplir con las obligaciones que la presente ley señala para los concesionarios, y estarán sujetos a las disposiciones que en la misma se señalan en relación a la regulación, modificación o extinción de dichos derechos y obligaciones.

Las personas que con el carácter de precaristas reciban el servicio de agua para riego en los distritos de riego, se regularán por lo dispuesto en el reglamento del distrito respectivo y no por lo dispuesto en este artículo.

ARTICULO OCTAVO.- Los distritos y unidades de riego que actualmente están a cargo de "La Comisión" deberán ajustarse a lo dispuesto en la presente ley dentro de un término que no podrá exceder de tres años contados a partir de su entrada en vigor

"La Comisión" deberá proveer lo necesario para el debido cumplimiento de lo dispuesto en el párrafo anterior, para lo cual concertará las acciones que sean necesarias con los usuarios.

"La Comisión" determinará lo conducente en tanto los usuarios se hacen cargo de la administración de los distritos o unidades de riego.

ARTICULO NOVENO.- En tanto se expide el reglamento en los Distritos de Riego en los términos de la presente ley, se seguirán aplicando los reglamentos, instructivos y demás normas vigentes que regulan su organización y operación. Igualmente, mientras se expide el reglamento del distrito en el que se regule el sistema de distribución en caso de escasez de agua, se seguirá aplicando el sistema previsto en el artículo 60 de la Ley Federal de Aguas que se deroga

ARTICULO DECIMO.- En tanto se expiden las normas oficiales mexicanas en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en los términos de la misma, seguirán vigentes, de acuerdo con el artículo tercero transitorio de dicha ley, las normas técnicas ecológicas e hidráulicas que haya expedido la dependencia de la administración pública federal competente.

ARTICULO DECIMO PRIMERO.- Los distritos de drenaje actualmente existentes se considerarán unidades de drenaje para efectos de lo dispuesto en la presente ley.

ARTICULO DECIMO SEGUNDO.- Seguirán en vigor los decretos y reglamentos de creación y de regulación de la estructura y atribuciones del Consejo Técnico, del Director General y de las demás unidades administrativas de "La Comisión", hasta que se expida la reglamentación sobre la organización y operación de la misma en los términos de la presente ley.

ARTICULO DECIMO TERCERO.- En tanto los Consejos de Cuenca a que se refiere la presente ley empiezan a operar y determinan lo conducente, se seguirá aplicando lo previsto en el artículo 27 de la Ley Federal de Aguas que se deroga.

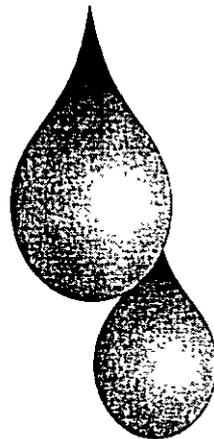
Reglamento

de la

Ley de

Aguas

Nacionales



REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES

TITULO PRIMERO

DISPOSICIONES PRELIMINARES

Capítulo Unico

ARTICULO 1o.- El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. Cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al presente Reglamento, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua, respectivamente.

ARTICULO 2o.- Para los efectos de este "Reglamento", se entiende por:

- I.- Aguas continentales: las aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, en la parte continental del territorio nacional;
- II.- Aguas residuales: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso;
- III.- Barranca profunda: hendedura pronunciada que se forma en el terreno, por el flujo natural del agua, en que la profundidad es mayor a 5 veces la anchura;
- IV.- 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" para un usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la "Ley" y este "Reglamento";
- V.- Corriente permanente: la que tiene un escurrimiento superficial que no se interrumpe en ninguna época del año, desde donde principia hasta su desembocadura;
- VI.- Corriente intermitente: la que solamente en alguna época del año tiene escurrimiento superficial;

- VII.- Cuerpo receptor: la corriente o depósito natural 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;
- VIII.- Cuota natural de renovación de las aguas: el volumen de agua renovable anualmente en una cuenca o acuífero;
- IX.- Demarcación de cauce y zona federal: trabajos topográficos para señalar físicamente con estacas o mojoneras en el terreno, la anchura del cauce o vaso y su zona federal;
- X.- Desarrollo integral sustentable: el manejo de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras;
- XI.- Descarga: la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor,
- XII.- Humedales. 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, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hidrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos, originadas por la descarga natural de acuíferos;
- XIII.- Infraestructura hidráulica federal. las obras de infraestructura hidráulica a que se refiere la fracción VII, del artículo 113 de la "Ley", así como las demás obras, instalaciones, construcciones y, en general, los inmuebles que estén destinados a la prestación de servicios hidráulicos a cargo de la Federación,
- XIV.- Lago o Laguna: el vaso de propiedad federal de formación natural que es alimentado por corriente superficial o aguas subterráneas o pluviales, independientemente que dé o no origen a otra corriente, así como el vaso de formación artificial que se origina por la construcción de una presa,
- XV.- Servicios hidráulicos federales: los servicios de riego y drenaje agrícolas, de suministro de agua en bloque a centros de población, de generación de energía hidroeléctrica en los términos de la ley aplicable, de tratamiento de agua residual, y otros servicios, cuando para la prestación de los mismos se utilice infraestructura hidráulica federal;

- XVI.-** Uso agrícola: la utilización de agua nacional 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;
- XVII.-** Uso agroindustrial: la utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios;
- XVIII.-** Uso doméstico: para efectos del artículo 3o., fracción XI de la "Ley", la utilización de agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa;
- XIX.-** Uso en acuicultura: la utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas;
- XX.-** Uso en servicios: la utilización de agua nacional para servicios distintos de los señalados en las fracciones XVI a XXV, de este artículo;
- XXI.-** Uso industrial: la utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación;
- XXII.-** Uso para conservación ecológica: el caudal mínimo en una corriente o el volumen mínimo en cuerpos receptores o embalses, que deben conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema;
- XXIII.-** Uso pecuario: la utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial,
- XXIV.-** Uso público urbano: la utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal, y
- XXV.-** Usos múltiples: la utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos en la "Ley" y el presente "Reglamento", salvo el uso para conservación ecológica, el cual está implícito en todos los aprovechamientos.

ARTICULO 3o.- Para efectos del artículo 1o., de la "Ley", y de este "Reglamento", las disposiciones respectivas se aplican a las aguas continentales.

La regulación en materia de preservación y control de la calidad del agua, en los términos de la "Ley" y el Título Séptimo del presente "Reglamento", se aplica también a las aguas de las zonas marinas mexicanas que define como tales el artículo 3o., de la Ley Federal del Mar.

ARTICULO 4o.- Para efectos de las fracciones VIII del artículo 3o., y IV, del artículo 113 de la "Ley", por lo que se refiere a la delimitación, demarcación y administración de las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, se estará a lo siguiente:

- I.- El nivel de aguas máximas ordinarias a que se refiere la fracción VIII, del artículo 3o., de la "Ley", se entiende como el que resulta de la corriente ocasionada por la creciete máxima ordinaria dentro de un cauce sin que en éste se produzca desbordamiento. La creciete máxima ordinaria estará asociada a un período de retorno de cinco años.

Para el caso de corrientes que presenten flujo nulo durante uno o más años de su período de registro, "La Comisión" determinará el periodo de retorno equivalente que tome en cuenta esta situación. Para el caso de estas corrientes y de las cuencas sin registro hidrométrico, la creciete máxima ordinaria se obtendrá a partir de tormentas máximas ordinarias, a las que se asociará el período de retorno correspondiente y el cálculo del escurrimiento respectivo se hará con las normas oficiales mexicanas que expida "La Comisión".

Para determinar la creciete máxima ordinaria de un cauce ubicado aguas abajo de una presa, se deberá considerar la ocurrencia simultánea de la creciete máxima ordinaria que genera la cuenca propia de dicho cauce y los caudales máximos posibles que descarga la presa, después de regular la creciete máxima ordinaria que genera su cuenca alimentadora, para el mismo período de retorno de cinco años.

En los ríos en llanuras de inundación, para efectos de lo dispuesto en este artículo, se tomará el punto más alto de la margen o ribera.

En el caso de barrancas profundas, "La Comisión" determinará la ribera o zona federal de corrientes o depósitos de agua, únicamente cuando la inclinación de dicha faja sea de treinta grados o menor, en forma continua;

- II.- "La Comisión", podrá poner a disposición de quien lo solicite la información de la creciete máxima ordinaria determinada para un cauce o vaso específicos;

- III.- En los ríos que desembocuen en el mar, la delimitación de la zona federal se establecerá a partir de cien metros río arriba, contados desde su desembocadura;
- IV.- La delimitación y demarcación del cauce y zona federal se llevará a cabo por "La Comisión" o por tercero autorizado, y a su costa, observándose el siguiente procedimiento:
 - a). Una vez realizados los trabajos de delimitación, se publicará aviso de demarcación en el Diario Oficial de la Federación y en el periódico de mayor circulación de la entidad federativa correspondiente, notificándose simultáneamente en forma personal, a los propietarios colindantes;
 - b). Se levantará acta circunstanciada, en la que se asienten los trabajos realizados, los documentos que exhibieron los propietarios colindantes y lo que hayan manifestado, así como la fijación de las mojoneras provisionales;
 - c). Los trabajos técnicos de delimitación y los planos correspondientes estarán a disposición de los interesados, para que en un término que no exceda de 10 días hábiles, a partir de la fecha de levantamiento del acta circunstanciada, expongan lo que a su derecho convenga, vencido dicho plazo "La Comisión" resolverá en un término no mayor a 15 días hábiles sobre la demarcación correspondiente.
- V.- En los vasos de lagos y lagunas que no estén conectados con el mar, el nivel de aguas máximas ordinarias se determinará considerando la corriente ocasionada por la creciente máxima ordinaria de sus fuentes alimentadoras, conforme al presente artículo;
- VI.- En las regiones deltáicas, cuando por efecto del desbordamiento de las corrientes se unan las aguas de inundación con las contenidas en lagos o lagunas de formación natural, los vasos de estos últimos se delimitarán por la curva de nivel correspondiente a la intersección de la superficie natural del terreno con las aguas en reposo, una vez que las corrientes retornan a sus cauces, definidos conforme a la fracción III, del artículo 3o., de la "Ley", y
- VII.- Los lagos, lagunas y esteros, cuando estén comunicados con el mar, la zona federal marítimo-terrestre se precisará conforme a la Ley General de Bienes Nacionales y el vaso, los cauces y las aguas se regularán por la "Ley" y este "Reglamento".

ARTICULO 5o.- Para efectos de la fracción XIII, del artículo 3o., de la "Ley", "La Comisión" para fijar la extensión de las zonas de protección de las presas, estructuras hidráulicas e instalaciones conexas, se sujetará a las condiciones de seguridad y del necesario mantenimiento y operación eficiente de la infraestructura hidráulica, así como sus ampliaciones futuras, según se desprenda de los diseños respectivos, y en todo caso la anchura de la franja alrededor de la infraestructura no excederá de 50 metros.

TITULO SEGUNDO
ADMINISTRACION DEL AGUA

Capítulo I
Ejecutivo Federal

ARTICULO 6o.- Además de lo previsto en los artículos 5o., y 6o., de la "Ley", corresponde al Ejecutivo Federal decretar, por las causas de utilidad pública a que se refiere el artículo 7o., de la "Ley", la expropiación, la ocupación temporal, total o parcial de los bienes de propiedad privada o la limitación del dominio en los términos de la "Ley", de la Ley de Expropiación y de las demás disposiciones aplicables

 Cuando se trate de bienes ejidales o comunales, se procederá en los términos de la Ley Agraria.

Capítulo II
Comisión Nacional del Agua

ARTICULO 7o.- Para efectos de la fracción VII, del artículo 9o., de la "Ley", "La Comisión" aprobará formatos para facilitar la presentación de las solicitudes de concesiones, asignaciones y permisos, así como de los anexos que en su caso ésta requiera.

ARTICULO 8o.- Para efectos de la fracción IX, del artículo 9o., de la "Ley", "La Comisión" podrá estudiar los efectos del cambio del clima e inducir la modificación atmosférica del ciclo hidrológico.

 "La Comisión" podrá autorizar en un término no mayor a 5 días hábiles, a partir de la fecha de presentación de la solicitud que realicen los particulares, para inducir la modificación atmosférica del ciclo hidrológico, cuando no haya afectación a los derechos de terceros y, en su caso, se efectúe conforme a las normas oficiales mexicanas y especificaciones técnicas que al efecto expida.

ARTICULO 9o.- Para efectos de la fracción X, del artículo 9o., de la "Ley", "La Comisión" podrá ejercer las siguientes atribuciones fiscales respecto a las contribuciones y aprovechamientos a que el citado precepto se refiere, en los términos del Código Fiscal de la Federación:

- I.- Devolver y compensar pagos;

- II.- Autorizar el pago de contribuciones o aprovechamientos a plazos, en parcialidades o diferido;
- III.- Proporcionar asistencia gratuita a los contribuyentes;
- IV.- Contestar consultas sobre situaciones individuales, reales y concretas;
- V.- Dar a conocer criterios de aplicación;
- VI.- Requerir la presentación de declaraciones;
- VII.- Comprobar el cumplimiento de obligaciones, incluyendo la práctica de visitas domiciliarias y el requerimiento de información a los contribuyentes, responsables solidarios o terceros con ellos relacionados;
- VIII.- Determinar contribuciones o aprovechamientos omitidos mediante la liquidación del crédito a pagar y sus accesorios,
- IX.- Imponer y condonar multas, y
- X.- Notificar los créditos fiscales determinados.

Los pagos que se deban efectuar conforme a lo señalado en esta disposición, se realizarán mediante declaración que presentarán en las oficinas de "La Comisión" o en las instituciones bancarias que autorice la Secretaría de Hacienda y Crédito Público

El ejercicio de las facultades a que se refiere este artículo, es independiente y sin menoscabo de las atribuciones que competen a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Cuando en el ejercicio de las facultades fiscales a que se refiere este artículo, "La Comisión" imponga multas por infracciones a las disposiciones fiscales y éstas sean efectivamente pagadas y hubieren quedado firmes, las mismas se destinarán a los fondos de productividad para el otorgamiento de estímulos y recompensas a los servidores públicos de "La Comisión". En la distribución de los fondos se estará a lo dispuesto en el artículo 14, fracción XIII, del presente "Reglamento".

ARTICULO 10.- "La Comisión" directamente o con el auxilio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y de las instituciones tecnológicas del sector hidráulico, realizará la investigación científica y el desarrollo tecnológico en materia de agua y la formación y capacitación de recursos humanos, a que se refiere la fracción XI, del artículo 9o., de la "Ley"

Asimismo, promoverá o en su caso expedirá y certificará el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de calidad de los productos, equipos, maquinarias, materiales y servicios que se utilizan en la construcción de infraestructura hidráulica o en el manejo, conducción y distribución de agua en todos sus usos, así como en el control y conservación de su calidad conforme a la legislación vigente.

ARTICULO 11.- Para efectos de la fracción XIII, del artículo 9o., de la "Ley", "La Comisión" podrá:

- I.- Efectuar visitas de inspección observando el procedimiento previsto en el artículo 183 de este "Reglamento", y
- II.- Realizar, entre otras, las funciones de inspección y vigilancia necesarias para la protección y seguridad hidráulica, para lo cual cuidará la conservación e integridad de la infraestructura hidráulica federal a su cargo y la debida prestación de los servicios hidráulicos federales respectivos, asimismo participará en el Sistema Nacional de Protección Civil.

ARTICULO 12.- Para efectos de lo dispuesto en la fracción XV, artículo 9o., de la "Ley", la declaratoria de aguas nacionales que emita "La Comisión" tendrá por objeto hacer del conocimiento de los usuarios las corrientes o depósitos de agua que tienen tal carácter, sin que la falta de declaratoria afecte su carácter de nacional.

Para expedir la declaratoria respectiva se realizarán o se recabarán los estudios técnicos que justifiquen o comprueben que la corriente o depósito de que se trate reúne las características que la "Ley" señala para ser aguas nacionales, igualmente se tomarán en cuenta los criterios que se señalan en el artículo 4o., de este "Reglamento".

La declaratoria correspondiente se publicará en el Diario Oficial de la Federación, y comprenderá además de la descripción general y las características de dicha corriente o depósito de agua nacional, los cauces, vasos y zonas federales, sin que sea necesario efectuar las demarcaciones en cada caso.

ARTICULO 13.- El Consejo Técnico de "La Comisión" a que se refiere el artículo 10 de la "Ley", sesionará en forma ordinaria cada dos meses y en forma extraordinaria en cualquier tiempo cuando lo convoque su Presidente.

Para poder sesionar se requiere la presencia de más de la mitad de los miembros que lo integren. Las resoluciones se adoptarán por mayoría de votos de los presentes y en caso de empate, el Presidente tendrá voto de calidad.

ARTICULO 14.- Para efectos del artículo 12 de la "Ley", el Director General de "La Comisión" tendrá las siguientes facultades:

- I.- Dirigir y representar legalmente a "La Comisión", así como efectuar el trámite y resolución de los asuntos de la competencia de "La Comisión";
- II.- Planear, programar, organizar, administrar, controlar y evaluar el funcionamiento de "La Comisión";

- III.- Establecer las políticas, normas, sistemas y procedimientos tanto de carácter técnico, como para la administración de los recursos humanos, financieros, materiales y tecnológicos de "La Comisión", de acuerdo a sus programas y objetivos;
- IV.- Adscribir orgánicamente las unidades administrativas de "La Comisión" que propicien el debido cumplimiento de la "Ley" y este "Reglamento", tanto en el ámbito nacional y estatal como en el de las cuencas hidrológicas, fijar su número y jurisdicción, y mandar publicar los acuerdos respectivos en el Diario Oficial de la Federación;
- V.- Delegar sus facultades en los servidores públicos o unidades administrativas de "La Comisión", sin menoscabo de su ejercicio directo, así como mandar publicar los acuerdos respectivos en el Diario Oficial de la Federación;
- VI.- Expedir los manuales de organización interna, procedimientos y servicios de "La Comisión";
- VII.- Formular el anteproyecto de presupuesto de "La Comisión", tramitar ante las dependencias competentes el ejercicio del presupuesto aprobado, y verificar su correcta y oportuna ejecución;
- VIII.- Formular y ejecutar los programas de "La Comisión" en materia de inversiones públicas y adquisiciones;
- IX.- Celebrar los actos jurídicos y contratos que se requieran para el ejercicio de sus atribuciones;
- X.- Observar lo dispuesto en las normas de racionalidad, austeridad y disciplina presupuestal y otorgar las autorizaciones expresas que conforme a las mismas corresponde al titular de "La Comisión";
- XI.- Presidir el comité consultivo nacional de normalización del sector agua, así como el comité de evaluación para la acreditación y certificación del mismo sector, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y expedir las normas oficiales mexicanas aprobadas que sean competencia de "La Comisión" y cuya expedición por ley no corresponda a otra dependencia.
- XII.- Presidir el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua;
- XIII.- Establecer y aplicar, una vez que haya sido sancionada por el Consejo Técnico, la forma en la que se distribuirán los fondos provenientes de las multas impuestas por "La Comisión", previstos en las leyes respectivas y en el presente "Reglamento";

XIV.- Hacer el seguimiento de los acuerdos adoptados por el Consejo Técnico y proporcionarle información suficiente y oportuna sobre los proyectos de "La Comisión" cuya realización requiera de la coordinación y apoyo de las dependencias integrantes del propio Consejo, y

XV.- Las demás que le confiera la "Ley", otras disposiciones legales o reglamentarias o el Consejo Técnico.

Capítulo III

Consejos de Cuenca

ARTICULO 15.- Los Consejos de Cuenca cuyo establecimiento acuerde el Consejo Técnico de "La Comisión", tendrán la delimitación territorial que comprenda el área geográfica de la cuenca o cuencas hidrológicas en que se constituyan. Los Consejos de Cuenca se integrarán conforme a lo siguiente:

I.- Formarán parte de los Consejos de Cuenca:

- a) El Director General de "La Comisión", quien lo presidirá y tendrá voto de calidad en caso de empate;**
- b) Un secretario técnico, nombrado por el Director General de "La Comisión", quien sólo contará con voz, y**
- c) Un representante de los usuarios de la cuenca por cada tipo de uso que se haga del recurso, quienes fungirán como vocales. En todo caso, el número de representantes de los usuarios deberá ser, cuando menos, paritario con el resto de los integrantes del Consejo de Cuenca.**

Los vocales durarán en su cargo el tiempo que el propio Consejo disponga en sus reglas de organización y funcionamiento. Para su elección, "La Comisión" promoverá la integración de la asamblea de usuarios de la Cuenca de que se trate, que se constituirá con la participación de las organizaciones que los representen, las que deberán estar debidamente acreditadas ante el propio Consejo de Cuenca;

II.- "La Comisión" invitará con voz y voto a los titulares de los Poderes Ejecutivos de las entidades federativas comprendidas dentro del ámbito del Consejo de Cuenca de que se trate, y

- III.- Los Consejos de Cuenca podrán invitar a sus sesiones a las dependencias y entidades del Gobierno Federal o de los gobiernos estatales y de los ayuntamientos, así como a las instituciones, organizaciones y representantes de las diversas agrupaciones de la sociedad interesadas, cuya participación se considere conveniente para el mejor funcionamiento del mismo, las cuales contarán sólo con voz..**

Los miembros de los Consejos de Cuenca a que se refieren el inciso a) de la fracción I y la fracción II podrán nombrar representantes para casos de ausencia.

ARTICULO 16.- Los Consejos de Cuenca se organizarán y funcionarán conforme a las reglas que expida "La Comisión", las cuales determinarán las acciones y procedimientos necesarios para:

- I.-** Conocer y difundir los lineamientos generales de política hidráulica nacional y regional, y proponer aquellos que reflejen la realidad del desarrollo hidráulico a corto, mediano y largo plazos, en el ámbito territorial del Consejo de Cuenca;
- II.-** Promover la participación de las autoridades estatales y municipales, así como de los usuarios y grupos interesados de la sociedad, en la formulación, **aprobación**, seguimiento, actualización y evaluación de la programación hidráulica de la cuenca o cuencas **de que se trate** en los términos de ley;
- III.-** Promover la integración de comisiones de trabajo de diversa índole, que permitan analizar y en su caso, plantear soluciones y recomendaciones para la atención de asuntos específicos relacionados con la administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos, el fomento del uso racional del agua y la preservación de su calidad;
- IV.-** Concertar con "La Comisión" las prioridades de uso y los demás instrumentos previstos en la programación hidráulica, conforme a lo dispuesto en la "Ley" y este "Reglamento", así como los mecanismos y procedimientos para enfrentar situaciones extremas de emergencia, escasez, sobreexplotación, contaminación de las aguas o deterioro de los bienes a cargo de "La Comisión";
- V.-** Apoyar las gestiones necesarias para lograr la concurrencia de los recursos técnicos, financieros, materiales y tecnológicos que requiera la ejecución de las acciones previstas en la programación hidráulica,

VI.- Participar en el desarrollo de los estudios financieros que lleve a cabo "La Comisión", con objeto de determinar los montos de las contribuciones de los usuarios para apoyar la ejecución de los programas de "La Comisión", que beneficien a los usuarios de la cuenca o cuencas comprendidas en el ámbito territorial de los Consejos de Cuenca, y

VII.- Participar o intervenir en los demás casos previstos en la "Ley" y este "Reglamento" para los Consejos de Cuenca.

ARTICULO 17.- "La Comisión", una vez constituido un Consejo de Cuenca, adecuará su funcionamiento para el debido ejercicio de sus atribuciones en el ámbito territorial correspondiente.

Capítulo IV

Organización y Participación de los Usuarios

ARTICULO 18.- Los usuarios podrán explotar, usar o aprovechar el agua, directamente o a través de la forma de organización que mejor les convenga, para lo cual se podrán constituir en alguna de las personas morales reconocidas en la legislación vigente.

ARTICULO 19.- "La Comisión" promoverá y apoyará la organización de los usuarios del agua para que coadyuven y participen en la explotación, uso o aprovechamiento racional de las aguas nacionales y en la preservación de su cantidad y calidad, en los términos de la "Ley" y este "Reglamento".

Para efectos del párrafo anterior, "La Comisión" podrá acreditar aquellas organizaciones de usuarios del agua que se hubieran constituido al amparo de otras leyes.

ARTICULO 20.- En el caso de que los usuarios se constituyan en personas morales que tengan por objeto administrar y operar un sistema de riego agrícola o la explotación, uso o aprovechamiento común de aguas nacionales para fines agrícolas, se estará a lo dispuesto para las mismas en el Capítulo II, del Título Sexto, de la "Ley" y a lo dispuesto en el presente "Reglamento".

Asimismo, cuando al amparo de un título de concesión, los usuarios se constituyan en personas morales que tengan por objeto el aprovechamiento común de aguas para actividades productivas distintas a las agrícolas, les será aplicable en lo conducente lo dispuesto en el artículo 51 de la "Ley" y este "Reglamento".

ARTICULO 21.- "La Comisión" promoverá y apoyará la organización de los usuarios, concesionarios o asignatarios del agua en una determinada cuenca, región o entidad federativa y establecerá los mecanismos para acreditar su participación en la programación hidráulica y la administración del agua, a través de los Consejos de Cuenca y de los demás mecanismos que al efecto se establezcan conforme a la "Ley" y al presente "Reglamento".

En las reglas de organización y funcionamiento de los consejos de cuenca, se determinarán los requisitos para la acreditación de las organizaciones de usuarios del agua y la forma en que participarán dentro de los mismos.

TITULO TERCERO

PROGRAMACION HIDRAULICA

Capítulo Unico

ARTICULO 22.- "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la fracción II, del artículo 9o , y en el artículo 15 de la "Ley", organizará los trabajos necesarios para formular y poner en ejecución las acciones de corto, mediano y largo plazos que se integren dentro de la programación hidráulica. Para ello, propiciará el concurso de las distintas instancias de gobierno, de los usuarios de las aguas nacionales y, en general, de los grupos sociales interesados, a través de los consejos de cuenca y de los demás mecanismos que se establezcan en los términos de ley.

ARTICULO 23.- La programación hidráulica precisará los objetivos nacionales, regionales y locales de la política en la materia; las prioridades para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como para la conservación de su cantidad y calidad; los instrumentos para la implantación de las acciones programadas; los responsables de su ejecución, y el origen y destino de los recursos requeridos, para lo cual tomará en cuenta:

- I.- Los inventarios de las aguas nacionales y de sus bienes inherentes, los de los usos del agua y los de la infraestructura hidráulica para su aprovechamiento y control;
- II.- Los estudios de cuenca y los balances hidráulicos que se realicen para la determinación de la disponibilidad de aguas nacionales, conforme a lo dispuesto en el artículo 22 de la "Ley";
- III.- Los derechos existentes, tal y como están consignados en el "Registro", en los términos de la "Ley" y del presente "Reglamento";
- IV.- Los catálogos de proyectos para el aprovechamiento del agua y para la preservación y control de su calidad, que integre "La Comisión" con proyectos de la Federación, de los gobiernos estatales y municipales y, en general, de cualquier dependencia o entidad, o de los sectores social y privado;

- V.- Las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales a que hace referencia el artículo 87 de la "Ley", junto con los estudios correspondientes;
- VI.- Las prioridades y las posibles limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva, en los términos del artículo 13 de la "Ley", o las que se establezcan en los términos del Título Quinto de la "Ley";
- VII.- Los estudios que fundamenten las declaratorias de reservas que en su caso demande la propia programación hidráulica o las que se requieran en los términos de la fracción II, del artículo 22 de la "Ley";
- VIII.- Los programas, estudios y proyectos sobre las medidas necesarias para la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos, incluyendo los humedales y las interacciones para la conservación y manejo de las cuencas alimentadoras de las aguas nacionales;
- IX.- Los estudios sobre los mecanismos disponibles y los que puedan llegar a definirse para el financiamiento de las distintas acciones previstas dentro de la programación hidráulica;
- X.- Las tecnologías disponibles y las que previsiblemente puedan desarrollarse, adaptarse o ser transferidas, y
- XI.- Las normas oficiales mexicanas y demás disposiciones que sobre la materia expida "La Comisión" y las demás autoridades competentes.

ARTICULO 24.- En la formulación e integración del programa nacional hidráulico y de los subprogramas específicos a que se refiere la fracción II, del artículo 15 de la "Ley", se tendrán en cuenta los criterios necesarios para garantizar el desarrollo integral sustentable y la debida consideración a la cuota natural de renovación de las aguas que "La Comisión" determine conforme a los estudios que al efecto realice, en el marco de las cuencas hidrológicas y acuíferos, como unidades de gestión del recurso hidráulico

ARTICULO 25.- En la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de los subprogramas específicos, "La Comisión" establecerá los mecanismos que, en cada caso, aseguren la debida participación de los usuarios y demás grupos sociales interesados, para lo cual publicará las correspondientes convocatorias y bases para designar representantes.

En la programación hidráulica de aquellas regiones donde haya sido instalado un Consejo de Cuenca, "La Comisión" atenderá las opiniones y recomendaciones que de él emanen y podrá convenir las estrategias y políticas que requieran la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua. Los programas que así se formulen serán sancionados por el Consejo de Cuenca y se incorporarán en la programación hidráulica.

Asimismo, en el marco de los convenios de desarrollo social, "La Comisión" podrá documentar y suscribir los acuerdos de coordinación y convenios de concertación que deriven de la propia programación hidráulica. En todos los casos, se deberá considerar la participación que les corresponda a los municipios y usuarios

En el ámbito federal, el Consejo Técnico de "La Comisión" se constituirá en el foro para asegurar la coordinación necesaria para la formulación y ejecución del programa nacional hidráulico y sus subprogramas específicos.

ARTICULO 26.- El programa nacional hidráulico que se formule, será sometido por el Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos a la aprobación del Ejecutivo Federal en los términos de la Ley de Planeación. Una vez aprobado, será publicado en el Diario Oficial de la Federación y, en forma abreviada, en dos diarios de mayor circulación nacional y de la región de que se trate, sin perjuicio de que "La Comisión" lo difunda.

En los términos de ley, el programa nacional hidráulico y sus subprogramas específicos se formularán cada seis años, manteniendo las previsiones y proyecciones para un plazo mayor.

"La Comisión" deberá proveer lo necesario para que el programa nacional hidráulico y los subprogramas específicos que formen parte de él, estén disponibles para consulta del público.

ARTICULO 27.- "La Comisión" evaluará los avances del programa nacional hidráulico y sus subprogramas específicos y, en su caso, promoverá las modificaciones a éstos y a su instrumentación con las mismas formalidades que se establecen en la "Ley" y el presente "Reglamento" para su formulación.

TITULO CUARTO
DERECHOS DE USO O APROVECHAMIENTO
DE AGUAS NACIONALES

Capítulo I
Aguas Nacionales

ARTICULO 28.- Para efectos del artículo 17 de la "Ley", es libre la explotación, uso o aprovechamiento de aguas superficiales por medios manuales para uso doméstico o abrevadero, siempre y cuando no exista una disminución significativa de su caudal. Se presumirá que existe disminución cuando la extracción se efectúe mediante sistemas de bombeo, equipo o cualquier otro medio mecánico o eléctrico que haga presuponer un consumo mayor al que se requiere normalmente para uso doméstico o abrevar el ganado, que conforme a la Ley Agraria se puede tener en los terrenos colindantes con la ribera o zona federal respectiva.

Capítulo II
Concesiones y Asignaciones

ARTICULO 29.- Las solicitudes de concesiones o asignaciones podrán ser presentadas tanto por personas físicas como por personas morales, debiendo acreditar estas últimas su existencia legal, así como la personalidad jurídica del promovente.

ARTICULO 30.- Conjuntamente con la solicitud de concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales se solicitará, en su caso: el permiso de descarga de aguas residuales, el permiso para la realización de las obras que se requieran para el aprovechamiento del agua y la concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de cauces, vasos o zonas federales a cargo de "La Comisión".

En el uso agrícola a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto, de la "Ley", al presentarse la solicitud de concesión no se necesitará solicitar al mismo tiempo el permiso de descarga de aguas residuales, pero en la solicitud deberán asumir la obligación de sujetarse a las normas oficiales mexicanas y a las condiciones particulares de descarga que en su caso se emitan y, en especial, a lo dispuesto en el artículo 96 de la "Ley" y en el artículo 137 de este "Reglamento".

Dentro del plazo establecido en la "Ley" para expedir la concesión o asignación de agua, en el mismo título se otorgarán las concesiones, asignaciones y permisos solicitados

Lo anterior sin perjuicio, de que conforme a la "Ley" y al presente "Reglamento", cuando ya exista concesión o asignación de agua se pueda solicitar por separado el permiso de descarga. Igualmente, por separado se podrán solicitar las concesiones que se requieran para la explotación, uso o aprovechamiento de cauces, vasos y zonas federales o de los materiales de construcción contenidos en los mismos.

ARTICULO 31.- Las solicitudes de concesión o asignación deberán contener los datos mencionados en el artículo 21 de la "Ley"; deberán presentarse por escrito, pudiendo utilizar los formatos aprobados por "La Comisión" a que se refiere el artículo 7o, del presente "Reglamento", y deberán ir acompañadas por los siguientes documentos:

- I.- Los que acrediten la personalidad con que se ostenta el solicitante, en su caso;
- II.- La copia del acta constitutiva cuando se trate de persona moral; .
- III.- El que acredite la propiedad o posesión del terreno en donde se localice el aprovechamiento de aguas del subsuelo, así como, en su caso, la solicitud de las servidumbres que se requieran;
- IV.- El croquis de localización del aprovechamiento, incluidos los puntos de descarga y, en su caso, los planos de los terrenos que van a ocuparse con las distintas obras e instalaciones;
- V.- La memoria técnica con los planos correspondientes que contengan la descripción y características de las obras realizadas o por realizar para efectuar el aprovechamiento, así como las necesarias para la disposición y tratamiento de las aguas residuales y las demás medidas para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores, a efecto de cumplir con lo dispuesto en la "Ley";
- VI.- La documentación técnica que soporte la solicitud en términos del volumen de consumo requerido, el uso inicial que se le dará al agua y las condiciones de cantidad y calidad de la descarga de aguas residuales respectivas, y
- VII.- Los que, en su caso, amparen legalmente el aprovechamiento que con anterioridad venían efectuando.

ARTICULO 32.- Las solicitudes de concesión o asignación que se presenten para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo, sólo se acompañarán de los documentos a que se refieren las fracciones I a IV del artículo anterior, cuando se trate de extracción de agua:

- I.- Exclusivamente para uso doméstico en zonas rurales;
- II.- Para cualquier uso cuyo volumen anual, para un solo solicitante, no sea mayor de 150 metros cúbicos, y
- III.- Para uso público urbano en localidades con menos de 500 habitantes.

"La Comisión" contestará las solicitudes dentro de los noventa días hábiles contados a partir de su presentación.

ARTICULO 33.- Las aguas residuales podrán usarse por un tercero distinto del concesionario o asignatario, antes de llegar al punto de descarga señalado en el título de concesión o asignación, o en el permiso de descarga correspondiente, siempre y cuando no se afecten derechos de terceros, ni las reservas existentes y se cumpla con las normas oficiales mexicanas y las condiciones particulares de descarga; para tal efecto el titular de la concesión, asignación o permiso deberá dar aviso a "La Comisión" en un término no mayor a diez días hábiles, contado a partir del inicio de su uso.

El aviso a que se refiere el párrafo anterior no exime al titular de la concesión, asignación o permiso de su responsabilidad de cumplir con lo dispuesto en la "Ley", el presente "Reglamento" y los respectivos títulos.

ARTICULO 34.- Las solicitudes de concesión o asignación deberán ser atendidas aún en el caso de que no exista declaratoria previa de aguas nacionales, si por las características de las mismas se ubican en las enunciadas en el párrafo quinto, del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Cuando de la información que obre en poder de "La Comisión", se desprenda que las aguas cuya explotación, uso o aprovechamiento se solicita no sean aguas nacionales, deberá notificar tal situación al solicitante, debidamente fundada y motivada.

ARTICULO 35.- Cuando la solicitud de concesión o asignación o los documentos presentados tengan deficiencias, o cuando se requiera mayor información, "La Comisión" lo hará saber al interesado a fin de que, dentro de treinta días hábiles improrrogables, subsane las deficiencias o proporcione la información adicional; en caso de no hacerlo dentro del plazo señalado, se tendrá por no presentada la solicitud.

Presentada la solicitud, si "La Comisión", dentro de los veinte días hábiles siguientes, no requiere a los interesados para que subsanen las deficiencias que existieren, se considerará integrado el expediente, en los términos del artículo 22 de la "Ley".

ARTICULO 36.- Los estudios y proyectos a que se refiere el artículo 31 de este "Reglamento", se ajustarán a las normas oficiales mexicanas y especificaciones técnicas que al efecto emita "La Comisión"

Si los proyectos presentados no se ajustan a las mismas, están incompletos o contienen errores técnicos, "La Comisión", dentro del plazo a que se refiere el primer párrafo del artículo anterior, solicitará que el interesado subsane los errores, corrija los proyectos o presente otros nuevos.

Cuando el solicitante de una concesión o asignación no pueda presentar dentro del plazo a que se refiere el párrafo anterior, el proyecto de las obras y la memoria técnica a que se refiere el artículo 31, fracción V, de este "Reglamento, podrá solicitar la ampliación de dicho plazo, expresando los motivos por los cuales debe hacer los estudios especiales, los trabajos que va a desarrollar, el orden e importancia de éstos y su duración máxima probable.

En estos casos, "La Comisión" podrá conceder el plazo solicitado para la realización de los estudios y trabajos motivo de la solicitud.

ARTICULO 37.- Los estudios de disponibilidad media anual del agua deberán considerar la programación hidráulica, los derechos inscritos en el "Registro", así como las limitaciones que se establezcan en las vedas, reglamentaciones y reservas a que se refiere la "Ley" y este "Reglamento". Los estudios deberán ser revisados por lo menos cada seis años.

Los resultados de los estudios de disponibilidad se publicarán en el Diario Oficial de la Federación. La información respectiva podrá ser consultada por los interesados en las oficinas de "La Comisión", en la cuenca o entidad correspondiente.

ARTICULO 38.- Una vez que esté integrado debidamente el expediente, "La Comisión" conforme a la "Ley" otorgará o denegará la concesión o asignación debiendo fundar y motivar su resolución, para lo cual deberá considerar el programa nacional hidráulico, en su caso el programa de la cuenca respectiva, los derechos existentes de explotación, uso o aprovechamiento de agua, la información del "Registro" y las vedas o reservas establecidas.

En el caso de que exista simultaneidad de solicitudes para una misma concesión o asignación de agua, en los términos de la fracción II, del artículo 22 de la "Ley", se decidirá por aquella petición que mejor se ajuste a los objetivos de la programación hidráulica, que proyecte la más racional utilización del agua, una mejor protección de su entorno y, en su caso, la que permita mayor beneficio social y económico.

ARTICULO 39.- Cuando "La Comisión" prevea la concurrencia de varios interesados o las posibilidades de aprovechamiento de agua en usos múltiples o en algún uso específico, podrá reservar ciertas aguas para programar su concesión o asignación mediante concurso, publicando dicha reserva en el Diario Oficial de la Federación.

"La Comisión" someterá a concurso las aguas así reservadas, debiendo publicar la convocatoria respectiva en los términos del artículo siguiente.

ARTICULO 40.- El procedimiento para el concurso de las aguas a concesionarse o asignarse, a que se refiere el artículo 22 de la "Ley", se desarrollará de la siguiente manera:

- I.- "La Comisión" expedirá la convocatoria correspondiente que será publicada en el Diario Oficial de la Federación, así como en un periódico de mayor circulación nacional y en uno de la localidad donde se encuentre el aprovechamiento;
- II.- En la convocatoria se especificarán, en su caso, los propósitos que persiguen las bases del concurso, los criterios de selección, plazo de ejecución para el desarrollo de los proyectos, vigencia y los requisitos que deberán satisfacer los interesados, y las condiciones para declarar desierto el concurso;
- III.- En la convocatoria se precisará igualmente el lugar, la fecha y la hora en que se llevará a cabo el acto de recepción y apertura de ofertas, debiendo considerar que entre la convocatoria y la celebración del acto de recepción y apertura de ofertas deberá transcurrir un mínimo de treinta y un máximo de noventa días hábiles;
- IV.- El concurso tendrá lugar el día y la hora señalados en la convocatoria, en presencia de los interesados y ante las autoridades de "La Comisión";
- V.- Las propuestas se harán del conocimiento de todos los concursantes en el acto de apertura y se señalará el lugar, la fecha y hora en que dará a conocer su fallo;
- VI.- "La Comisión" otorgará la concesión o asignación a quien ofrezca las mejores condiciones técnicas, económicas y sociales o de utilización del agua, en los términos señalados en la convocatoria respectiva, y lo hará del conocimiento de los interesados, en la fecha a que se refiere la fracción anterior, y
- VII.- El fallo emitido por "La Comisión" tendrá el carácter de inapelable.

ARTICULO 41.- "La Comisión", en los casos que exista una explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, cuando lo considere necesario e independientemente de si existe solicitud, tramitará y otorgará de oficio el título de concesión o asignación respectivo y lo notificará al concesionario o asignatario, para los efectos correspondientes.

ARTICULO 42.- Toda concesión o asignación se entenderá hecha sin perjuicio de derechos de terceros. En todo título de concesión o asignación, se deberá señalar que el concesionario o asignatario responderá por los daños y perjuicios que cause a terceros, siempre y cuando le sean imputables por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales que realice

· La concesión o asignación no garantiza la existencia o invariabilidad del volumen de agua concesionada o asignada.

ARTICULO 43.- Para que los concesionarios o asignatarios cambien el uso del agua en forma total o parcial, sin modificar el volumen de consumo de agua concesionado o asignado, ni el punto de extracción, ni el sitio de descarga, ni el volumen y la calidad de las aguas residuales, bastará que dentro de los quince días hábiles siguientes a la fecha en que lo hayan hecho presenten aviso a "La Comisión"

El aviso se efectuará bajo protesta de decir verdad. En caso de falsedad se procederá a la suspensión o revocación del título, conforme a la "Ley" y el presente "Reglamento", independientemente de la aplicación de las sanciones que correspondan.

El cambio de uso lo inscribirá de oficio "La Comisión" en el "Registro".

ARTICULO 44.- Los concesionarios o asignatarios podrán solicitar a "La Comisión", la expedición de los certificados a que se refieren los artículos 224 fracción V, 281-A y 282 fracción IV, de la Ley Federal de Derechos.

La solicitud deberá contener:

- I.- Nombre, denominación o razón social y domicilio del interesado,
- II.- Tipo de certificado que solicita;
- III.- Constancia expedida por el "Registro", que acredite la inscripción del título de concesión o asignación de agua y permiso de descarga de aguas residuales vigente,
- IV.- Fotocopia de los comprobantes de pago de las contribuciones o aprovechamientos fiscales;
- V.- Información y documentación técnica acorde a las especificaciones que emita "La Comisión", con la cual fundamenta su solicitud;
- VI.- Memoria técnica, en su caso, de las obras e instalaciones correspondientes, y

- VII.- Comprobar , en su caso, que no se utilizan volúmenes de agua mayores que los que generan las descargas de aguas residuales para diluir y así tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia ecológica o las condiciones particulares de descarga o con los requisitos que exige la expedición del certificado de que se trate.

"La Comisión" resolverá de manera fundada y motivada en un plazo no mayor a 90 días hábiles, y una vez integrado debidamente el expediente.

ARTICULO 45.- Los certificados a que se refiere el artículo anterior contendrán:

- I.- Nombre, denominación o razón social y domicilio del beneficiario,
- II.- Fecha de expedición;
- III.- Tipo o clase de certificado y los términos y condiciones bajo las cuales se otorga;
- IV.- Duración del certificado, y
- V.- Las demás que, a juicio de "La Comisión" se deban incluir.

ARTICULO 46.- Cuando se hubiera revocado una concesión por causas imputables al concesionario en los términos del artículo 27, fracción II, de la "Ley", "La Comisión" no tramitará al mismo concesionario otra en sustitución, si no ha transcurrido, por lo menos, un año a partir de que haya quedado firme la resolución de revocación.

ARTICULO 47.- Para efectos de la fracción III del artículo 27 de la "Ley", cuando durante tres años consecutivos se utilice solamente una parte del volumen de agua, caducará la concesión o asignación **respecto al volumen que no hubiere sido aprovechado.**

Antes del vencimiento del plazo de tres años, los titulares podrán disponer o transmitir en los términos de la "Ley" y del presente "Reglamento", en forma temporal o definitiva, parcial o total, los volúmenes de agua no utilizados que resulten.

La caducidad no operará en los supuestos siguientes:

- I.- Por mandamiento judicial o por resolución administrativa, siempre y cuando no hayan sido emitidos por causa imputable al propio usuario en los términos de la "Ley" y del presente "Reglamento", que impidan al concesionario o asignatario disponer temporalmente de los volúmenes de agua concesionados o asignados;

- II.- Por caso fortuito o fuerza mayor que impida al concesionario o asignatario el uso total o parcial del volumen de agua concesionado o asignado;
- III.- Cuando el concesionario o asignatario haya realizado obras de infraestructura tendientes a usar de manera más eficiente el agua, que le permitan utilizar en sus procesos sólo una parte del volumen de agua concesionado o asignado;
- IV.- Cuando el concesionario o asignatario cuente con una capacidad instalada suficiente para disponer de la totalidad del volumen autorizado y no lo esté aprovechando porque lo reserve para sus programas de crecimiento o expansión, y
- V.- Cuando el concesionario o asignatario requiera más de tres años para contar con la infraestructura e instalaciones para llevar a cabo el aprovechamiento de los volúmenes de agua, siempre y cuando esté programada su utilización.

El concesionario o asignatario que tenga reservados volúmenes de agua para efecto de su aprovechamiento a futuro, deberá presentar a "La Comisión" el programa de crecimiento o expansión que tenga planeado.

El concesionario o asignatario que se encuentre en alguno de los supuestos previstos en este artículo, deberá dar aviso a "La Comisión" dentro de los treinta días hábiles siguientes a que se surta el supuesto respectivo, a fin de que ésta proceda a comprobar la existencia del supuesto y emita la constancia respectiva. En caso de que "La Comisión" no emita respuesta dentro de los sesenta días hábiles siguientes a la fecha en que se presentó el aviso, se tendrán por acreditados los supuestos.

ARTICULO 48.- Para efectos de la fracción V, del artículo 27 de la "Ley", una vez que quede firme y se notifique la resolución judicial que reconozca los derechos de terceros, o declare la nulidad o revocación de la concesión o asignación, o la transmisión de la misma, "La Comisión" procederá a notificar, en su caso, la terminación legal de la concesión o asignación respectiva, debiendo proceder a efectuar la inscripción correspondiente en el "Registro"

ARTICULO 49.- "La Comisión" declarará la terminación de la concesión o asignación en los casos previstos en la ley.

Previamente, "La Comisión" tramitará el expediente respectivo y otorgará garantía de audiencia a los interesados en caso de revocación y caducidad.

En los casos de las fracciones II y III, del artículo 27 de la "Ley", se seguirá el siguiente procedimiento:

- I.- Una vez que la causa de revocación o de caducidad sea conocida por "La Comisión", ésta la notificará al concesionario o asignatario, señalándole un plazo de quince días hábiles, contados a partir del día siguiente al de la notificación, a efecto de que alegue lo que a su derecho convenga y ofrezca las pruebas y defensas que tuviere. Si éste no responde en el término indicado, "La Comisión" dictará desde luego resolución;
- II.- Recibida la respuesta del concesionario o asignatario y a su solicitud, "La Comisión" abrirá un período para la recepción y desahogo de las pruebas ofrecidas por él y las que estime pertinentes "La Comisión", atendiendo a la naturaleza de las mismas;
- III.- Desahogadas las pruebas y tomando en consideración los elementos aportados por el concesionario o asignatario, así como la información o datos que estime pertinente solicitar a éste o que haya recabado directamente, "La Comisión" dictará la resolución que proceda;
- IV.- En el procedimiento mencionado se aplicará en lo conducente el Código Federal de Procedimientos Civiles, y
- V.- Las resoluciones de revocación o caducidad se notificarán a los interesados y se procederá a su inscripción en el "Registro".

ARTICULO 50.- Al término del plazo de la concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, o, en su caso, de la última prórroga, las obras e instalaciones adheridas de manera permanente a bienes nacionales que se hayan utilizado para dicho aprovechamiento, deberán revertir a la Federación.

Capítulo III

- Derechos y Obligaciones de Concesionarios o Asignatarios

ARTICULO 51.- Las servidumbres a que se refiere el artículo 28, fracción III, de la "Ley" son las que se pueden establecer sobre propiedades particulares conforme al Código Civil de la entidad federativa en la que se encuentre el bien o predio sirviente.

"La Comisión" podrá requerir el establecimiento de servidumbres sobre terrenos particulares, en los términos de la legislación aplicable.

No se podrán establecer servidumbres pasivas, en los términos del derecho común, sobre los cauces, vasos, zonas federales o demás bienes del dominio público de la Federación, los cuales para su explotación, uso o aprovechamiento requieren de concesión o asignación, en los términos de la "Ley". Los derechos de tránsito, de vista, de luz, de derrames y otros semejantes sobre dichos bienes se rigen exclusivamente por las leyes y reglamentos administrativos.

ARTICULO 52.- Para efectos de la fracción V, del artículo 29 de la "Ley", los concesionarios y asignatarios por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales o del subsuelo, deberán tener los medidores de volumen de agua respectivos o los demás dispositivos y procedimientos de medición directa o indirecta que señalen las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, así como las normas oficiales mexicanas.

ARTICULO 53.- "La Comisión", para efectos de un uso eficiente del agua y realizar su reuso, así como para determinar los casos de desperdicio ostensible del agua, expedirá las normas oficiales mexicanas, así como las condiciones particulares de descarga en los términos de la "Ley" y de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Capítulo IV

Registro Público de Derechos de Agua

ARTICULO 54.- "La Comisión" establecerá oficinas del "Registro" en cada entidad federativa, donde se inscribirán los títulos de concesión, asignación y permiso y los actos señalados en el Capítulo IV, del Título Cuarto, de la "Ley".

ARTICULO 55.- "La Comisión" expedirá las reglas y manuales que se requieran para la organización y operación del "Registro", y vigilará su cumplimiento

ARTICULO 56.- Corresponde al Director General de "La Comisión" y a los servidores públicos en quienes éste delegue dichas facultades, respecto de los actos del "Registro":

- I.- Ser depositarios de la fe pública registral;
- II.- Autorizar con su firma y sello oficial, la apertura y cierre de los libros o folios y las constancias y certificaciones que deba expedir el "Registro", y
- III.- Atender y resolver las consultas que se presenten.

ARTICULO 57.- Deberán inscribirse en el "Registro":

- I.- Los títulos de concesión o asignación y el permiso de descarga de aguas residuales señalados en la "Ley" y este "Reglamento", así como sus prórrogas;
- II.- La transmisión de los títulos, así como los cambios que se efectúen en sus características, en los términos establecidos por la "Ley" y este "Reglamento";
- III.- La suspensión o terminación de los títulos enunciados, y las referencias que se requieran de los actos y contratos relativos a la transmisión de su titularidad;
- IV.- Las modificaciones y rectificaciones de los títulos y actos registrados;
- V.- Las reservas de aguas nacionales establecidas conforme a la "Ley" y este "Reglamento", y
- VI.- Las sentencias o resoluciones administrativas o judiciales definitivas que afecten, modifiquen, cancelen o ratifiquen los títulos y actos inscritos y los derechos que de ellos deriven, cuando se notifiquen por jueces o autoridades a "La Comisión" o se presenten por los interesados

ARTÍCULO 58.- Las inscripciones en el "Registro" se harán por cada título de concesión, asignación o permiso, y por los cambios y rectificaciones que se efectúen de acuerdo con la "Ley" y este "Reglamento".

En los distritos de riego, las asociaciones de usuarios que sean concesionarios de agua y de la infraestructura de riego respectiva, podrán inscribir en el "Registro" los padrones que estén integrados conforme a la "Ley" y estén debidamente actualizados por los propios concesionarios. Estas inscripciones se llevarán en forma separada a las que se refiere el párrafo anterior.

El registro o inventario a que se refiere el artículo 32 de la "Ley", será sólo para efectos estadísticos.

ARTÍCULO 59.- Los actos de expedición, prórroga, suspensión y terminación de concesiones, asignaciones o permisos que en los términos del artículo 30 de la "Ley" deben ser inscritos de oficio, deberán quedar asentados dentro de los quince días hábiles siguientes a la fecha en que se realicen.

Lo anterior, sin perjuicio de que los propios usuarios, en caso de que no lo haya hecho "La Comisión", soliciten la inscripción en el "Registro" de los títulos respectivos y sus modificaciones.

ARTICULO 60.- Cualquier solicitud de inscripción en el "Registro" deberá hacerse por escrito, pudiendo utilizar los formatos proporcionados por "La Comisión", acompañando el comprobante de pago de los derechos respectivos.

ARTICULO 61.- Los actos y contratos relativos a la transmisión total o parcial de los títulos, sólo se inscribirán a petición de parte interesada; la solicitud correspondiente deberá contener la información señalada en el artículo 69 de este "Reglamento" y se acompañarán los documentos que comprueben el acto que se pretenda registrar, así como, en su caso, la autorización de "La Comisión" que en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", llegue a requerirse para la transmisión de los títulos de concesión, asignación o permiso.

ARTICULO 62.- Las inscripciones en el "Registro" estarán sujetas a las disposiciones que establece la "Ley" y el "Reglamento", serán elementos de prueba de la existencia del título o acto administrativo registrado, y elemento de defensa de los derechos del título contra terceros. "La Comisión", de oficio o a petición de parte interesada, proveerá lo necesario para el respeto de los derechos inscritos en el "Registro".

ARTICULO 63.- Las reclamaciones por negativa, rectificación, modificación y cancelación de inscripciones que perjudiquen a terceros, así como las que se refieran a nulidades de éstas, a que se refiere el artículo 31 de la "Ley", se resolverán conforme al procedimiento de conciliación y arbitraje previsto en el presente "Reglamento" o, en su defecto, se deberá demandar ante los tribunales competentes para que, previa la substanciación del proceso respectivo, se dicte la resolución que conforme a derecho proceda.

Capítulo V

Transmisión de Títulos

ARTICULO 64.- Se podrán transmitir los derechos derivados de las concesiones o asignaciones para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales dentro de una misma cuenca, o de aguas del subsuelo dentro de un mismo acuífero, cuando estén vigentes e inscritos en el "Registro". La localización y los límites de los acuíferos serán definidos por "La Comisión" conforme a la información y los estudios hidráulicos disponibles, los cuales estarán a disposición del público para su consulta.

La transmisión de derechos solo requerirá autorización de "La Comisión" en los casos establecidos en la "Ley" y el presente "Reglamento".

ARTICULO 65.- Para efectos del artículo 20 de la "Ley", cuando un asignatario transmita a un particular sus derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas, o viceversa, no se requerirá sustituir el título, bastando la inscripción de la transmisión en el "Registro" y la anotación de la inscripción correspondiente en el título original.

ARTICULO 66.- Bastará un simple aviso por escrito al "Registro", cuando

- I.- Sólo se cambie de titular de la concesión o asignación, incluyendo los supuestos previstos en el artículo anterior, siempre y cuando no se modifiquen las características del título respectivo, o
- II.- Se trate de alguna de las cuencas, entidades federativas, zona o localidad a que se refieran los acuerdos que publique "La Comisión", en los términos del artículo 34 de la "Ley" en los que se autoricen las transmisiones de los títulos respectivos sin mayor trámite que su inscripción en el "Registro", sin perjuicio y quedando a salvo los derechos de terceros.

ARTICULO 67.- El aviso a que se refiere el artículo anterior, deberá ser firmado conjuntamente por el concesionario o asignatario y por el adquirente del derecho, y deberá presentarse por lo menos con la siguiente información:

- I.- Nombre, denominación o razón social del solicitante y localización de la explotación, uso o aprovechamiento de agua respectiva;
- II.- Descripción general del título de concesión, asignación o permiso correspondiente, y
- III.- La fecha y naturaleza del acto, anexando copia del contrato, convenio o acto realizado.

La inscripción de la transmisión que se haga, no perjudicará y dejará a salvo los derechos de terceros.

El aviso se presentará bajo protesta de decir verdad. En caso de falsedad se procederá a la suspensión o revocación del título, conforme a la "Ley" y el presente "Reglamento", independientemente de la aplicación de las sanciones que correspondan.

ARTICULO 68.- En los casos distintos a los que se refiere el artículo 66, de este "Reglamento", la solicitud a "La Comisión" para que autorice la transmisión de derechos se podrá efectuar por el notario o corredor público o la persona que con fe pública intervenga en la formalización de la transmisión de derechos de agua.

En caso de que no intervengan fedatarios públicos en la transmisión de derechos, la solicitud de autorización de transmisión se deberá firmar conjuntamente por el concesionario o asignatario y por el adquirente del derecho.

ARTICULO 69.- Las solicitudes para que "La Comisión" autorice la transmisión de derechos de agua se deberá acompañar de la siguiente documentación:

- I.- Copia del título que ampare la explotación, uso o aprovechamiento objeto de la transmisión y constancia de su inscripción en el "Registro", en caso de que haya sido objeto de transmisión anterior;
- II.- En caso de que el adquirente sea persona moral, copia de su escritura constitutiva y del documento que acredite la personalidad del solicitante;
- III.- Documentos que acrediten que se está al corriente en el pago de las contribuciones y aprovechamientos fiscales en materia de aguas nacionales, conforme a la legislación vigente, y
- IV.- Copia de la carta intención o del proyecto de contrato o convenio que formalice la transmisión, el cual determinará la forma en que expresamente el adquirente asume solidariamente todos los derechos y obligaciones emanados de la concesión o asignación y, cuando la explotación, uso o aprovechamiento se va a efectuar en lugar distinto, responsabilidad solidaria, consistente en cerrar o destruir la obra de extracción y de sufragar los gastos que ello ocasione, por el que transmite y el que adquiere, tan pronto sea autorizada la transmisión de derechos.

Cuando "La Comisión" proceda a cerrar o destruir la obra de extracción ante el incumplimiento de las partes, exigirá a cualquiera de los dos el pago de los gastos que se ocasionen por tal motivo, independientemente de la aplicación de las sanciones que conforme a derecho procedan.

ARTICULO 70.- "La Comisión" podrá pedir a los solicitantes los datos, documentos y aclaraciones que estime necesarios para emitir su decisión y, con tal objeto, les concederá un plazo de hasta diez días hábiles para su presentación; en caso de no hacerlo dentro del plazo señalado, se tendrá por no presentada la solicitud.

"La Comisión" deberá dar contestación a la solicitud en un término que no excederá de noventa días hábiles, a partir de su presentación y de toda la documentación que se deba acompañar a la misma, en los términos de la "Ley" y del presente "Reglamento".

ARTICULO 71.- Los derechos y obligaciones emanados de un título de concesión o asignación podrán ser transferidos por vía sucesoria o por adjudicación judicial.

Para tales efectos los interesados deberán:

- I.- Presentar solicitud en la que se indique la causa de la misma;
- II.- Acompañar los documentos que acrediten la personalidad de quien ejerza los derechos correspondientes;
- III.- Presentar la documentación que acredite al solicitante como causahabiente de los derechos, y
- IV.- Presentar documentos que acrediten el pago de las contribuciones y aprovechamientos fiscales en materia de aguas nacionales, por el último ejercicio fiscal.

En la solicitud se deberán asumir expresamente frente a "La Comisión" los compromisos a que se refiere la fracción IV, del artículo 69 de este "Reglamento".

Cumplidos los requisitos anteriores, "La Comisión" autorizará, en su caso, la transferencia en un plazo de sesenta días hábiles.

De no resolver "La Comisión" en dicho plazo, se entenderá autorizada la transmisión.

ARTÍCULO 72.- Para efectos del segundo párrafo del artículo 35 de la "Ley", la transmisión **temporal o definitiva, total o parcial** de los derechos para explotar, usar o aprovechar aguas del subsuelo en zonas de veda o reglamentadas, se podrá **efectuar en forma separada del derecho de propiedad de la tierra en las zonas en que "La Comisión" determine y publique en el Diario Oficial de la Federación.**

Tratándose de transmisión total y definitiva de derechos, una vez autorizada por "La Comisión", se clausurará la obra de alumbramiento respectiva dentro de los diez días hábiles siguientes a la autorización.

Tratándose de transmisión total de manera temporal, o parcial de derechos, "La Comisión" dispondrá las medidas necesarias para que los volúmenes que se extraigan del pozo original, así como del nuevo aprovechamiento, sean acordes con la transmisión realizada.

Efectuada la transmisión de derechos a que se refiere este precepto, el adquirente podrá optar entre iniciar de inmediato la construcción de la obra de alumbramiento o, en su defecto, previo acreditamiento ante "La Comisión", de conformidad con los lineamientos de carácter general que al efecto se emitan, reservar los volúmenes adquiridos para su uso a futuro, indicando, dentro de un plazo de 60 días hábiles, el sitio del aprovechamiento y la fecha del inicio de la explotación.

Cuando el adquirente del derecho desee hacer uso de los volúmenes que se hubiere reservado, deberá notificar a "La Comisión" sobre la ubicación del aprovechamiento a fin de que ésta verifique, dentro de un plazo de 60 días hábiles, que no se afectan derechos a terceros.

Una vez efectuada la transmisión de derechos, "La Comisión" expedirá, a favor del adquirente, el título de concesión o asignación que proceda o, en su caso, las modificaciones o ajustes a los títulos originales.

En todos los casos de transmisión de derechos, el otorgante y el adquirente serán responsables solidarios por los daños y perjuicios que se pudieran ocasionar a terceros.

TITULO QUINTO

ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O DE RESERVA

Capítulo Unico

ARTICULO 73.- Para efectos del artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" realizará los estudios técnicos y, de encontrarlos procedentes, formulará los proyectos y tramitará los decretos o reglamentos respectivos, los cuales deberán publicarse por una sola vez en el Diario Oficial de la Federación y en el periódico de mayor circulación en la localidad de que se trate.

En los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" promoverá la participación de los usuarios a través de los Consejos de Cuenca, o en su defecto, a través de las organizaciones de los usuarios en las zonas que se quieran vedar o reglamentar.

El decreto o reglamento respectivo, deberá hacer constar que se elaboraron los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", al igual que sus resultados, y que se dio la participación a que se refiere el párrafo anterior.

ARTICULO 74.- Se entenderá por zona reglamentada, aquélla en la que el Ejecutivo Federal mediante reglamento, por causa de interés público, establece restricciones o disposiciones especiales para la explotación, uso o aprovechamiento del agua, conforme a la disponibilidad del recurso y a las características de la zona, a fin de lograr la administración racional e integral del recurso y conservar su calidad.

El reglamento se aplicará, a partir de su entrada en vigor, tanto a los aprovechamientos de aguas superficiales y del subsuelo existentes al momento de su expedición, como a los que se autoricen con posterioridad

ARTICULO 75.- Los reglamentos a que se refiere el presente capítulo deberán contener:

- I.- El nombre, ubicación y delimitación geográfica de las corrientes, depósitos o acuíferos, objeto de la reglamentación;
- II.- El volumen disponible de agua y su distribución territorial,
- III.- Las disposiciones relativas a la forma y condiciones en que deberán llevarse a cabo el uso, la explotación y el aprovechamiento del agua, así como la forma de llevar los padrones respectivos;

- IV.- Las medidas necesarias para hacer frente a situaciones de emergencia, escasez extrema o sobreexplotación;
- V.- Los mecanismos que garanticen la participación de los usuarios en la aplicación del reglamento, y
- VI.- Las sanciones por incumplimiento previstas en la "Ley".

En el reglamento de estas zonas se atenderá a los usos del agua previstos en el Título Sexto de la "Ley", teniendo prioridad el abastecimiento para consumo humano.

ARTICULO 76.- En las zonas reglamentadas, "La Comisión" promoverá la participación y concertación con los usuarios de las zonas respectivas para:

- I.- Establecer los mecanismos o acciones que coadyuven a la vigilancia del cumplimiento de la "Ley", del presente "Reglamento" y, en su caso, de los reglamentos específicos que se establezcan en esas zonas,
- II.- Definir mecanismos para la presentación y tramitación de las sugerencias, solicitudes, denuncias o quejas de los usuarios;
- III.- Promover y en su caso coadyuvar en las acciones tendientes a preservar las fuentes de agua y conservar o controlar su calidad, y
- IV.- Dar a conocer a los interesados el anteproyecto de reglamento específico que formule, para que conforme a derecho expongan lo que a sus intereses convenga.

ARTICULO 77.- Se entenderá como zona de veda aquella en la que el Ejecutivo Federal mediante decreto, por causa de interés público, establece:

- I.- Que no es posible mantener o incrementar las extracciones de agua superficial o del subsuelo, a partir de un determinado volumen fijado por "La Comisión" conforme a los estudios que al efecto realice, sin afectar el desarrollo integral sustentable del recurso y sin el riesgo de inducir efectos perjudiciales, económicos o ambientales, en las fuentes de agua de la zona en cuestión o en los usuarios del recurso; o
- II.- Que se prohíben o limitan los usos del agua con objeto de proteger la calidad del agua en las cuencas o acuíferos

Para efectos de la fracción III, del artículo 40 de la "Ley", "La Comisión" promoverá la organización de los usuarios de la zona de veda respectiva, para que puedan participar en el establecimiento de las modalidades o limitaciones a las extracciones o descargas, mediante la expedición de las normas oficiales mexicanas respectivas.

ARTICULO 78.- El Ejecutivo Federal podrá decretar la reserva de aguas nacionales para:

- I.- Usos domésticos y abastecimiento de agua a centros de población;
- II.- Generación de energía eléctrica;
- III.- Garantizar los flujos mínimos que requiera la estabilidad de los cauces, lagos y lagunas, y el mantenimiento de las especies acuáticas, y
- IV.- La protección, conservación o restauración de un ecosistema acuático, incluyendo los humedales, lagos, lagunas y esteros, así como los ecosistemas acuáticos que tengan un valor histórico, turístico o recreativo.

"La Comisión" hará los estudios y previsiones necesarias para incorporar las reservas de agua a la programación hidráulica, y promoverá que se mantengan las condiciones de cantidad y calidad requeridas para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en las declaratorias respectivas.

Las reservas de aguas nacionales deberán publicarse en el Diario Oficial de la Federación e inscribirse en el "Registro".

ARTICULO 79.- En las zonas en las cuales el Ejecutivo Federal haya decretado una veda o en las zonas en las que se haya reglamentado la extracción y utilización de aguas nacionales del subsuelo, "La Comisión", en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", a solicitud de los usuarios, expedirá las concesiones o asignaciones para su explotación, uso o aprovechamiento.

Las aguas nacionales superficiales se podrán continuar explotando, usando o aprovechando al amparo del título de concesión o asignación respectiva, con las limitaciones y modalidades que en su caso establezcan los decretos y reglamentos correspondientes.

ARTICULO 80.- Para efectos del artículo 42 de la "Ley", cuando los aprovechamientos de agua no se hayan efectuado en los dos años inmediatos anteriores a la entrada en vigor del decreto o reglamento respectivo, "La Comisión" podrá otorgar las concesiones o asignaciones respectivas, mediante la estimación presuntiva del volumen de agua usada, aprovechada o descargada, considerando indistintamente:

- I.- Los volúmenes que señalen los aparatos de medición que se hubieren instalado o los que se desprendan de alguna de las declaraciones presentadas, conforme a la Ley Federal de Derechos, por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales;

- II.- El cálculo de la cantidad de agua que el titular pudo obtener durante el período para el cual se efectúa la determinación, de acuerdo a las características de sus instalaciones, debiéndose tomar en cuenta, entre otros, los siguientes elementos:
 - a). Energía eléctrica consumida por cada pozo o aprovechamiento;
 - b). Potencia del equipo de bombeo;
 - c). Altura o desnivel entre el nivel dinámico del agua y el punto de descarga;
 - d). Pérdida por fricción;
 - e). Coeficiente de eficiencia del equipo de bombeo;
- III.- El cálculo de la cantidad de agua que el titular pudo descargar de acuerdo con sus niveles de actividad e índices de descarga unitaria determinados por "La Comisión", o
- IV.- Otra información obtenida por "La Comisión" en ejercicio de sus facultades, o la que se desprenda de los medios indirectos de la investigación económica o de cualquier otra clase.

TITULO SEXTO

USOS DEL AGUA

Capítulo I

Uso Público Urbano

ARTICULO 81.- La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, superficiales o del subsuelo para centros de población o asentamientos humanos, se efectuará mediante asignación para uso público urbano que otorgue "La Comisión", en los términos del artículo 44 de la "Ley".

"La Comisión" otorgará la asignación a los respectivos municipios o en su caso al Gobierno del Distrito Federal.

ARTICULO 82.- "La Comisión" podrá otorgar:

- I.- La asignación de agua a organismos o entidades paraestatales o paramunicipales que administren los sistemas de agua potable y alcantarillado de los municipios, así como de las zonas conurbadas o intermunicipales;
- II.- La concesión de agua para servicio público urbano a ejidos, comunidades, organizaciones de colonos o usuarios que administren sistemas de agua potable y alcantarillado, y
- III.- La concesión de agua para empresas que administren fraccionamientos.

El otorgamiento de las concesiones o asignaciones a que se refiere el presente artículo, se efectuará en caso de que el municipio no pueda prestar directamente el servicio o cuando medie acuerdo favorable del mismo.

En caso de que conforme a la ley se concesionen por el municipio, total o parcialmente, los servicios públicos de agua potable y alcantarillado, las asignaciones de agua que expida "La Comisión" se harán en todo caso a los municipios que tienen a su cargo la prestación de dicho servicio público.

Lo dispuesto en este artículo para los municipios se aplicará en lo conducente para el Distrito Federal.

ARTICULO 83.- Para efectos del artículo 44 de la "Ley", en los títulos de asignación respectivos, "La Comisión" y los municipios, entidades federativas, entidades paraestatales o paramunicipales que presten los servicios públicos de agua potable y alcantarillado, establecerán:

- I.- La programación para el aprovechamiento de las fuentes de suministro de agua y la forma de su ejecución;
- II.- Los sitios y formas de medición tanto del suministro como de la descarga de aguas residuales;
- III.- El uso racional y eficiente del agua, así como el respeto a las reservas y a los derechos de terceros aguas abajo inscritos en "El Registro";
- IV.- El cumplimiento de las normas y condiciones de calidad en el suministro de agua y en la descarga de agua residual a cuerpos receptores;
- V.- La obligación de pagar oportunamente las contribuciones y aprovechamientos federales a su cargo, con motivo de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, y, en su caso, para la inscripción del pago respectivo en el Registro de Obligaciones y Empréstitos de Entidades y Municipios a favor de la Federación, en los términos establecidos en el artículo 9o , de la Ley de Coordinación Fiscal, y
- VI.- Las causas de caducidad de los derechos que ampara el título correspondiente.

Lo dispuesto en este artículo, se aplicará en lo conducente para las concesiones que "La Comisión" expida para el abastecimiento de agua a fraccionamientos

ARTICULO 84.- Corresponde al Municipio o, en su caso, al Distrito Federal, así como a los organismos o empresas que presten el servicio de agua potable y alcantarillado, el tratamiento de las aguas residuales de uso público urbano, previa a su descarga a cuerpos receptores de propiedad nacional, conforme a las condiciones particulares de descarga que les determine "La Comisión".

Para tal efecto, en los términos del artículo 45 de la "Ley", corresponde a los municipios, directamente o a través de los organismos operadores encargados de la prestación del servicio público de agua potable y alcantarillado o, en su caso, al Distrito Federal, la autorización y contratación o concesión de las obras de tratamiento de aguas residuales, si éstas se realizan antes de descargar dichas aguas en una corriente o depósito de propiedad nacional.

"La Comisión" podrá convenir con varios municipios y, en su caso, con el Distrito Federal, el establecimiento de sistemas regionales de tratamiento de las descargas de aguas residuales que se hayan vertido a un cuerpo receptor de propiedad nacional, conforme a los estudios que al efecto se realicen y en los cuales se prevea la parte de los costos que deberá cubrir cada uno de los municipios y, en su caso, el Distrito Federal.

ARTICULO 85.- Los municipios, con el concurso de los estados en los términos de ley, podrán explotar, usar o aprovechar las aguas residuales que se les hubieren asignado, hasta antes de su descarga a cuerpos receptores que sean bienes nacionales. La explotación, uso o aprovechamiento se podrá efectuar por dichas autoridades a través de sus entidades paraestatales o de concesionarios en los términos de ley.

Se podrán reutilizar las aguas tratadas provenientes de los sistemas públicos urbanos, en los términos del artículo 33 de este "Reglamento" y siempre que no se afecten las reservas y los derechos de terceros inscritos en el "Registro", para lo cual "La Comisión" proveerá lo necesario y se coordinará para tal efecto con las autoridades estatales, municipales y con sus organismos operadores, así como, en su caso, con el Distrito Federal.

ARTICULO 86.- El uso o reuso de las aguas residuales que no formen parte de los sistemas públicos de drenaje o alcantarillado y que se extraigan directamente de corrientes o cuerpos receptores de propiedad nacional, requerirá de concesión o asignación de "La Comisión", aún cuando atraviesen o se encuentren en zonas urbanas.

Las personas que infiltren o descarguen aguas residuales en los terrenos o cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones, deberán obtener el permiso de descarga respectivo, en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", independientemente del origen de las fuentes de abastecimiento, salvo lo previsto en el último párrafo del artículo 135 de este "Reglamento".

Capítulo II

Uso Agrícola

Sección Primera

Disposiciones Generales

ARTICULO 87.- Para efectos del artículo 48 de la "Ley", en las solicitudes de concesión de agua para riego, el solicitante expresará el área de los terrenos por regar, sus colindancias, su situación aproximada con relación a la extracción y la información necesaria para la estimación del volumen de agua que se aprovechará

Los ejidos o comunidades, serán titulares de la respectiva concesión para la explotación, uso o aprovechamiento del agua, en los términos de la "Ley" y de lo dispuesto en la Sección Segunda de este Capítulo. Los ejidos y comunidades en las unidades y distritos de riego, serán considerados usuarios de los mismos y, por tanto, se regirán por lo dispuesto en la "Ley" y el presente "Reglamento" para los mismos.

ARTICULO 88.- La transmisión de derechos a que se refiere el artículo 49 de la "Ley", en relación con el Capítulo V, del Título Cuarto de la misma, así como las transmisiones en unidades y distritos de riego, podrá ser temporal o definitiva.

Es temporal, cuando los derechos se transfieren por determinados ciclos agrícolas, conservando la titularidad de la concesión.

Es definitiva, cuando se transfiere o cede la titularidad de los derechos de los concesionarios en forma permanente.

ARTICULO 89.- La transmisión total del derecho de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales provenientes del subsuelo, cuando la extracción se va a efectuar en otro lugar, además de lo dispuesto en los artículos 68 y 69 del presente "Reglamento", requiere de la previa cancelación del pozo respectivo dentro de los diez días hábiles siguientes a la transmisión

La transmisión parcial del derecho de uso o aprovechamiento de aguas nacionales del subsuelo, requiere del ajuste respectivo en los equipos de bombeo y, en su caso, de la inscripción correspondiente en el "Registro" o en el padrón de usuarios de la unidad o distrito de riego respectivo.

Cuando la transmisión de derechos de agua del subsuelo implique la perforación de algún pozo o su relocalización, se deberá obtener necesariamente el permiso de "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y este "Reglamento".

ARTICULO 90.- Con la solicitud de concesión para la operación, conservación y administración de los sistemas de riego o para la explotación, uso o aprovechamiento común de las aguas nacionales con fines agrícolas, a que se refiere la fracción II, del artículo 50 de la "Ley", las personas morales deberán presentar a "La Comisión" el proyecto de reglamento a que se refiere el artículo 51 de la propia "Ley".

El reglamento a que se refiere el párrafo anterior, no podrá contravenir lo establecido en la "Ley" y en el presente "Reglamento".

ARTICULO 91.- Para efectos del artículo 51 de la "Ley", el reglamento de las personas morales que administren y operen sistemas de riego o el aprovechamiento común de aguas nacionales, deberá además contener.

- I.- La forma de determinar y recuperar oportunamente los costos de operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura y de los servicios que se presten, así como su cobro a través de cuotas,
- II.- La forma y condiciones, conforme a las cuales se podrán efectuar las transmisiones de derechos de agua, respetando el uso consuntivo total y los derechos de terceros y, pudiendo fijar, en su caso, mínimos y máximos de los volúmenes de agua que se pueden transmitir como consecuencia de restricciones técnicas o del interés general de los miembros,

- III.- Las medidas que se consideren necesarias para propiciar el uso eficiente de las aguas,
- IV.- Las medidas para el control y preservación de la calidad del agua, en los términos de ley, y
- V.- Las demás que sean necesarias para una mayor eficiencia, eficacia y economía de los sistemas, y que así acuerden los miembros de las personas morales

ARTICULO 92.- Para efectos del Artículo 52 de la "Ley", los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas de los miembros de las personas morales a que se refiere la fracción II, del Artículo 50 de la misma, deberán registrarse en el padrón de usuarios que integrará "La Comisión" y que el concesionario mantendrá actualizado.

El padrón de usuarios contendrá, entre otros, los siguientes datos:

- I.- El nombre y las características del usuario;
- II.- Los derechos de agua de que son titulares;
- III.- La superficie total de la parcela o lote del usuario y la superficie efectiva de riego de la misma y volumen que le corresponde;
- IV.- El número de lote o parcela, con el cual se le identifica, y
- V.- El tipo de aprovechamiento de agua.

ARTICULO 93.- Para efectos del artículo 52 de la "Ley", el concesionario, previamente a la realización de cualquier acto que pudiera afectar los derechos de riego agrícola de los usuarios inscritos en el padrón de usuarios respectivo, deberá notificarles a los posibles afectados el motivo y fundamento de la afectación, otorgándoles un plazo de 15 días hábiles a partir de su notificación para que manifiesten, aleguen o prueben lo que a su derecho convenga

Los usuarios en defensa de sus derechos e intereses, podrán recurrir a "La Comisión" para efectos de conciliación y arbitraje en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento".

Sección Segunda

Ejidos y Comunidades

ARTICULO 94.- Para efectos del artículo 56 de la "Ley", cuando los ejidatarios y comuneros conforme a la Ley Agraria y previo acuerdo de la asamblea general, asuman el dominio individual pleno sobre sus parcelas, se tendrán por transmitidos los derechos de las aguas que venían aprovechando de la dotación ejidal, aplicándose lo dispuesto en el tercer párrafo, del artículo 53 de la "Ley".

Al presentar a "La Comisión" la solicitud de concesión respectiva, los ejidatarios y comuneros adjuntarán la constancia oficial de cancelación de la inscripción de las parcelas. Al otorgar la concesión, "La Comisión" disminuirá del volumen de la dotación, restitución o acesión ejidales o de la concesión original, el volumen concesionado y se inscribirá en "El Registro".

Las personas que adquieran el dominio sobre tierras ejidales en los términos de la Ley Agraria, conservarán los derechos a explotar, usar o aprovechar las aguas correspondientes y en caso de solicitar la concesión, estarán obligadas a cumplir con los requisitos necesarios para obtener el título respectivo y su registro. Al otorgar la concesión, "La Comisión" procederá a realizar la disminución e inscripción respectivas a que se refiere el párrafo anterior.

En los casos en que los ejidatarios o comuneros transmitan la titularidad de la tierra conforme a la ley, podrán también transmitir sus derechos de agua, siendo aplicable lo dispuesto en el segundo párrafo, del artículo 48 de la "Ley" y, en su caso, el artículo 72 del "Reglamento".

ARTICULO 95.- Los ejidos y comunidades, así como los ejidatarios y comuneros dentro de los distritos y unidades de riego, se regirán por lo dispuesto para los mismos en la "Ley" y el presente "Reglamento".

Cuando los ejidatarios y comuneros en las unidades y distritos de riego asuman el dominio individual pleno sobre sus parcelas, sus derechos de agua correspondientes se inscribirán en el padrón de las asociaciones o sociedades de usuarios titulares de las concesiones para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales

Sección Tercera

Unidades de Riego

ARTICULO 96.- Los certificados a que se refiere el artículo 58 de la "Ley", serán nominativos y se sujetarán al siguiente procedimiento para su expedición y transmisión:

- I.- La expedición, modalidades y forma de transmisión de los certificados en la unidad respectiva se deberán contemplar en el reglamento de la unidad de riego;
- II.- Los certificados se entregarán solamente a los usuarios que aparezcan en el padrón y ampararán los derechos para explotar, usar o aprovechar el volumen de agua que en el mismo se consignan;
- III.- Los certificados se expedirán y firmarán por la persona moral respectiva y en el documento deberá aparecer la mención de que son "certificados libremente transmisibles";
- IV.- Para que la transmisión de los derechos que amparan dichos certificados tenga validez, se requiere la transmisión de los certificados mismos;
- V.- La transmisión de los certificados entre los propios usuarios, o a terceras personas que los sustituyan como usuarios dentro de la unidad de riego, podrá efectuarse sin mayor trámite que los que se señalen en el reglamento de la unidad de riego, y
- VI.- Los derechos de explotación, uso o aprovechamiento del agua que amparan los certificados no pueden ser transferidos fuera de la unidad de riego, ni a fuentes distintas de las concesiones de origen.

Los certificados no crean derechos reales sobre aguas nacionales.

Sección Cuarta

Distritos de Riego

ARTICULO 97.- La entrega por parte de "La Comisión" de distritos de riego con inversión pública federal, para su administración, operación, conservación y mantenimiento por los usuarios de los mismos, a que se refieren los artículos 64 y 65 de la "Ley", se efectuará en forma concertada con ellos y se sujetará a lo siguiente:

- I.- Los usuarios se deberán asociar en personas morales, y efectuar las acciones necesarias para que sus estatutos y el reglamento respectivo se apeguen a lo que señalan la "Ley" y el presente "Reglamento" para la administración descentralizada de los distritos;
- II.- Los usuarios solicitarán las concesiones necesarias para hacerse cargo de una parte o la totalidad de la infraestructura de riego y servicios asociados en un distrito de riego, excepto las obras de captación o almacenamiento y

en general las obras de cabeza y, en los casos que fuere necesario, la red mayor de canales, drenes y los caminos asociados serán operados, conservados y administrados por "La Comisión" directamente o a través de terceros, con cargo a los usuarios;

- III.- "La Comisión" otorgará concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se requieran para el servicio de riego, así como la concesión de la infraestructura hidráulica federal requerida para proporcionar el servicio de riego agrícola en el distrito, a través de la administración de los usuarios o de terceros que contraten al efecto, y
- IV.- "La Comisión" supervisará y vigilará el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables a los distritos, y ejercerá las demás facultades que conforme a la "Ley" le corresponden como autoridad en la materia.

ARTICULO 98.- El comité hidráulico del distrito de riego a que se refiere el Artículo 66 de la "Ley", se organizará y operará conforme al reglamento de cada distrito y estará integrado por lo menos con los miembros siguientes:

- I.- Un Presidente, que será el Ingeniero en Jefe del distrito de riego, designado por "La Comisión", y
- II.- Un representante de cada una de las asociaciones de usuarios que integran el distrito cuya administración se haya transferido a las mismas.

El comité, cuando así lo considere conveniente, podrá invitar con voz pero sin voto a las dependencias y entidades de la administración pública federal, estatal o municipal, así como a las personas físicas o morales cuya participación se juzgue conveniente para el mejor funcionamiento del comité, cuyo representante tendrá voz pero no voto.

ARTICULO 99.- El comité hidráulico tendrá a su cargo:

- I.- Proponer a "La Comisión" el reglamento del distrito de riego, para su aprobación en los términos de la "Ley";
- II.- Celebrar sesiones ordinarias por lo menos una vez al mes y en forma extraordinaria en los casos que el reglamento del distrito de riego lo prevenga, y en todas ellas levantar el acta respectiva, llevar el libro de actas que estará a disposición de los usuarios para fines de consulta, y difundir los acuerdos tomados en cada sesión;
- III.- Conocer los planes de riego del distrito y mantenerse informado de sus avances;

- IV.- Fomentar la realización de estudios y programas para mejorar el aprovechamiento y uso racional del agua, así como para la conservación y mejoramiento de los suelos y de las obras de infraestructura del distrito;
- V.- Promover la solución de divergencias que surjan entre usuarios o entre asociaciones de usuarios y en general, las que resulten de asuntos internos de la operación;
- VI.- Conocer y dar seguimiento a los programas de conservación y mejoramiento de las obras de infraestructura hidroagrícola del distrito;
- VII.- Conocer y en su caso opinar sobre las bases de integración y la forma de recaudación de las cuotas que tengan que pagar los usuarios para la administración, operación, conservación, mantenimiento y supervisión del distrito en su conjunto y, en su caso, para la recuperación de las inversiones en obras, y
- VIII.- Conocer y promover programas de capacitación y apoyo técnico de "La Comisión" a los usuarios o a sus asociaciones.

ARTICULO 100.- En los títulos de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales que se otorguen a las asociaciones de usuarios, en los términos del artículo 97, fracción III, de este "Reglamento", se deberá determinar el volumen de agua concesionado.

En los distritos de riego por gravedad, estos volúmenes se calcularán con base en los registros históricos de escurrimiento, mediante el empleo de modelos hidroeconómicos que para estos casos fije "La Comisión" a través de normas oficiales mexicanas, con los cuales se definirá un rango de volúmenes que, para cada año, se determinará en función del volumen disponible, almacenado al día 10. de octubre o al inicio del ciclo agrícola. Los valores mínimos de este rango, tomarán en cuenta los usos para la conservación ecológica y los derechos inscritos en el "Registro", y el volumen máximo estará en función de la capacidad actual de las obras de conducción, o de la superficie regable establecida en el decreto de creación del distrito de riego.

En los distritos de riego por bombeo, los volúmenes de agua concesionados se calcularán tomando en cuenta las condiciones geohidrológicas, de tal manera que la extracción no exceda la recarga del acuífero, y que no se afecten los derechos de terceros.

ARTICULO 101.- Para los efectos del artículo 66 de la "Ley", el reglamento del distrito de riego establecerá las reglas y disposiciones para llevar a cabo la administración, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura y de los bienes concesionados, la distribución de las aguas y el servicio de riego a los usuarios.

Además de lo dispuesto en el artículo 51 de la "Ley", el reglamento del distrito deberá contener lo siguiente:

- I.- Referencia de la constitución y circunscripción del distrito, describiendo los recursos hidráulicos de que dispone para el suministro de los servicios;
- II.- La forma en que las asociaciones o sociedades de usuarios administrarán, operarán, conservarán y mantendrán la infraestructura y bienes concesionados, así como las responsabilidades que asumen, indicando su estructura y funciones;
- III.- Definición de los derechos y obligaciones de usuarios, asociaciones y sociedades que para la operación y administración del distrito se requieran, así como de las sanciones en los casos de violación de las disposiciones del reglamento del distrito;
- IV.- Las acciones a realizar en situaciones de emergencia;
- V.- El procedimiento para la distribución de las aguas cuando se presenten condiciones de escasez, según lo previene el artículo 69 de la "Ley", el que debe establecerse tomando como base el título de concesión, los derechos registrados en el padrón de usuarios y los instructivos emitidos por "La Comisión";
- VI.- Los procedimientos necesarios para elaborar el programa anual de conservación y mantenimiento de las obras que se utilicen para el distrito en su conjunto, así como el presupuesto correspondiente, tanto en lo tocante a la infraestructura como al equipo y a la maquinaria;
- VII.- Los procedimientos para la formulación, aprobación y ejercicio de los presupuestos de ingresos y egresos de las asociaciones de usuarios, y
- VIII.- El procedimiento para el cálculo de las cuotas para la administración, operación, conservación y mantenimiento, así como el de las cuotas adicionales que se requieran para otros fines.

ARTICULO 102.- Para efectos del artículo 67 de la "Ley", el padrón de usuarios de los distritos de riego será integrado por "La Comisión" en los términos del artículo 92 de este "Reglamento", bajo las consideraciones siguientes:

- I.- Para la inscripción en el padrón de los derechos de los usuarios integrantes de las asociaciones de usuarios, se estará tanto al reglamento de las mismas como al reglamento de los distritos de riego respectivos;
- II.- El padrón de usuarios de cada asociación, lo integrará "La Comisión" con los datos que los usuarios y concesionarios le proporcionen; y el del distrito de riego, con los padrones de las asociaciones de usuarios titulares de concesiones;

III.- Una vez integrado el padrón de las asociaciones, será responsabilidad del concesionario el mantenerlo actualizado, debiendo promover oportunamente la inscripción de los cambios o modificaciones en el padrón de usuarios del distrito de riego, y

IV.- La falta de actualización de los datos de un usuario en el padrón correspondiente, será motivo de suspensión del servicio que deberá efectuar la asociación de usuarios titular de la concesión, en los términos del reglamento respectivo.

Sólo se proporcionará servicio de riego a tierras dentro del perímetro del distrito de riego, y que estén debidamente registradas en el padrón de usuarios.

ARTICULO 103.- Para efectos del artículo 69 de la "Ley", además de lo previsto en el reglamento del distrito de que se trate, cuando haya escasez de agua y los usuarios que dispongan de medios propios para riego hayan satisfecho sus necesidades en la superficie autorizada en los padrones, deberán entregar al distrito los volúmenes excedentes que determine "La Comisión". Los usuarios beneficiados en el distrito cubrirán los costos que se originen

ARTICULO 104.- Para efectos del artículo 70 de la "Ley", la transmisión de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua en los distritos de riego, se sujetará a lo siguiente:

I.- La expedición, modalidades y transmisión de los derechos se deberán contemplar en el reglamento a que se refiere el artículo 66 de la "Ley";

II.- Los derechos individuales se transmitirán en forma parcial o total, temporal o definitivamente;

III.- La transmisión de derechos entre los propios usuarios de una misma asociación o sociedad o a terceras personas que los sustituyan como usuarios en los mismos terrenos, se efectuará sin mayor trámite. Cuando sea en terrenos distintos se sujetará a las modalidades que señale el reglamento respectivo, debiendo llevar inherentes las obligaciones de pago de cuotas para la administración, operación, conservación, mantenimiento y las demás que se originen. La transmisión para que surta sus efectos contra terceros, requerirá que se haga la sustitución respectiva en los padrones que corresponda, salvo en aquellos casos de transmisión temporal que conforme al reglamento del distrito se exima de la inscripción en el padrón;

IV.- Para poder transmitir dentro de un mismo distrito los derechos a terceras personas para usos distintos al que tienen las asociaciones u organizaciones de usuarios, se requiere del acuerdo de la mayoría de los usuarios del

distrito en asamblea convocada para tal efecto y la autorización de "La Comisión", conforme a lo establecido en los artículos 68 y 69 de este "Reglamento", y

- V.- La transmisión total o parcial de derechos hacia fuera de los distritos de riego, además de lo que señala el artículo 70 de la "Ley", deberá sujetarse a las siguientes bases:
- a). Que exista constancia de que se concedió el derecho de preferencia a los usuarios del distrito o sus organizaciones en igualdad de condiciones;
 - b). Que el adquirente de los derechos asuma la construcción a su cargo de la infraestructura hidroagrícola necesaria para que no se afecte la operación del distrito y que cancele a su cargo la que ya no se utilizará;
 - c). Que exista autorización de "La Comisión" para la transmisión de derechos de agua concesionada al distrito de riego, en los términos de los artículos 68 y 69 de este "Reglamento", y que se efectúen los ajustes respectivos en las inscripciones del "Registro".

ARTICULO 105.- "La Comisión" determinará y recaudará los siguientes aprovechamientos fiscales aprobados anualmente, en su caso, por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público:

- I.- Las cuotas de riego a que se refiere la fracción II, del artículo 68 de la "Ley", cuando se trate de distritos de riego a cargo de "La Comisión", en tanto se procede a la descentralización de su administración a los usuarios, y
- II.- La cuota que se cobre por el servicio que proporcione "La Comisión" para el suministro de agua en bloque para riego agrícola, en los casos de la fracción III, del artículo 97 de este "Reglamento", misma que deberá recaudarse dentro de las cuotas para riego a que se refiere la fracción II, del artículo 68 de la "Ley", cuando se trate de distritos de riego cuya administración se haya descentralizado a los usuarios.

Para la administración y recaudación de los aprovechamientos a que se refiere este artículo, "La Comisión" tendrá las facultades fiscales a que se refieren los artículos 9o., fracción X, de la "Ley" y 9o., de este "Reglamento".

ARTICULO 106.- Las asociaciones de usuarios de un distrito de riego que reciban concesión para administrar la infraestructura y los servicios de riego, deberán llevar un control volumétrico del agua en los puntos de control que se señalen en la concesión o en el reglamento del distrito.

ARTICULO 107.- La convocatoria a que se refiere el artículo 73 de la "Ley", será dirigida a los beneficiarios de la zona de riego proyectada, incluidos en el censo mencionado en la fracción III, del artículo 72 de la "Ley", y deberá contener el orden del día y el lugar, fecha y hora de la celebración de las audiencias.

Deberá además publicarse por dos días consecutivos en el periódico de mayor circulación de la zona, cuando menos con diez días naturales de anticipación a la fecha de su celebración y colocarse en las oficinas del o los municipios que abarque la zona de riego proyectada.

ARTICULO 108.- Al decretarse la expropiación de tierras comprendidas en un distrito de riego, los afectados deberán comprobar, para efectos de indemnización, sus derechos de propiedad o posesión legítima.

La indemnización será cubierta por el Gobierno Federal a través de "La Comisión".

ARTICULO 109.- La indemnización en especie, a que se refiere el artículo 74 de la "Ley", no podrá exceder de los límites que para la pequeña propiedad señalan los artículos 27, fracción XV, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y 117 de la Ley Agraria.

En los decretos del Ejecutivo Federal en los que se establezcan los distritos de riego, se podrá autorizar la desincorporación del dominio público al privado de la Federación de los terrenos de la zona proyectada para riego necesarios para el pago en especie que se requiera, así como facultar a "La Comisión" para coadyuvar en la regularización de las tierras en las zonas de riego proyectadas en el distrito y para la relocalización de centros de población o asentamientos humanos, sin perjuicio de las atribuciones que competan a otras dependencias.

En los casos en que previa solicitud del afectado, "La Comisión" considere conveniente compensar en especie, con las tierras disponibles dentro del proyecto del distrito, sólo procederá cuando acrediten haber adquirido la propiedad o posesión expropiada con dos años de anticipación a la primera publicación del decreto respectivo, o que haya sido propietario de un terreno agrícola durante ese período, y tendrá lugar a favor de propietarios o poseedores que acrediten trabajar directamente la tierra como ocupación habitual.

ARTICULO 110.- La interconexión o fusión de un distrito de riego con otro u otros distritos o con unidades de riego, a que se refiere la fracción I, del artículo 75 de la "Ley", se podrá realizar cuando esta acción redunde en un mejor aprovechamiento de las aguas disponibles en los mismos, para lo cual "La Comisión" realizará los estudios correspondientes y emitirá las recomendaciones que considere pertinentes.

Sección Quinta
Drenaje Agrícola

ARTICULO 111.- Las unidades de drenaje, se constituirán por acuerdo que se publicará en el Diario Oficial de la Federación conforme a lo previsto en el artículo 76 de la "Ley", el cual deberá contener, además de lo señalado en el segundo párrafo de dicho precepto, lo siguiente:

- I.- La descripción de la infraestructura asociada a la creación y operación del drenaje, y
- II.- Los requisitos para formar parte, como usuario, de la zona beneficiada.

ARTICULO 112.- Para efectos del artículo 76 de la "Ley", en cuanto a la promoción y fomento para el establecimiento de unidades de drenaje, "La Comisión":

- I.- Aplicará, en lo conducente, lo dispuesto en la "Ley" y el presente "Reglamento" para la creación de unidades de riego o distritos de riego, para el otorgamiento de las concesiones o para la celebración de los actos y contratos que se requieran para que los usuarios asuman su administración;
- II.- Promoverá, en su caso, la adquisición por parte del Ejecutivo Federal de las tierras requeridas para construir las obras hidráulicas;
- III.- Dará a conocer lo conducente a las autoridades que deban intervenir, conforme a su competencia, con motivo de la creación de la unidad de drenaje, y
- IV.- Convocará, en los términos de este "Reglamento", a audiencias con los beneficiarios de la unidad de drenaje, para:
 - a). Informar y concertar con los beneficiarios la participación en el financiamiento y en la recuperación de la inversión federal en obras de infraestructura hidráulica, en los términos de la "Ley", y
 - b). Acordar la organización de los beneficiarios de la unidad de drenaje, y la forma en que coadyuvarán en la solución de los problemas de los afectados por las obras hidráulicas y el reacondo de los mismos.

ARTICULO 113.- Para efectos del artículo 77 de la "Ley", en las unidades de drenaje que cuenten con infraestructura hidráulica federal, los beneficiarios de la misma podrán organizarse y constituirse en personas morales, para realizar la operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura por cuenta y en nombre de "La Comisión", para lo cual se sujetarán a lo siguiente:

- I.- Deberán cobrar a sus integrantes por cuenta y en nombre de "La Comisión" las cuotas que determine la "Ley" para la recuperación de la inversión y de los costos, quienes estarán obligados a cubrir los pagos a dichas personas morales;
- II.- Los adeudos por los servicios de administración, operación, conservación y mantenimiento que haya realizado "La Comisión" directamente o a través de terceros, así como las cuotas para recuperar la inversión en las obras, tendrán el carácter de créditos fiscales para su cobro;
- III.- Para la administración, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura concesionada, las personas morales deberán contar con un reglamento en los términos del artículo 51 de la "Ley", cuyo proyecto deberán presentar a "La Comisión" junto con su solicitud de contrato o convenio, y dicho reglamento no podrá contravenir lo establecido en la "Ley", en el presente "Reglamento", y en los estatutos de la persona moral, y
- IV.- El órgano directivo de las personas morales propondrá a la asamblea general su reglamento, y en éste deberá quedar asentado el procedimiento que se seguirá para el cobro de las cuotas que se requieran.

ARTICULO 114.- La persona moral a que se refiere el artículo anterior, deberá llevar un padrón de propiedades y propietarios beneficiarios de la infraestructura de la unidad, obligación que deberá estar prevista en el reglamento.

El padrón deberá tener como mínimo los datos siguientes:

- I.- Nombre del propietario;
- II.- Número con que se identifica y controla el predio;
- III.- Superficie y colindancias de las tierras beneficiadas con las obras y que forman parte de la unidad de drenaje; y
- IV.- Infraestructura que le da un servicio directo al beneficiario.

Los propietarios registrados en el padrón tendrán la obligación de proporcionar con oportunidad la información y documentación que permita su actualización.

ARTICULO 115.- Los beneficiarios de las unidades de drenaje están obligados a utilizar la infraestructura respectiva en los términos de la "Ley", de este "Reglamento" y del reglamento de la unidad de drenaje, y las personas morales a que se refiere el artículo 113 de este "Reglamento", vigilarán que esto se cumpla.

"La Comisión" será la autoridad en materia de agua en las unidades de drenaje descentralizadas, y actuará en los términos previstos en la "Ley" y el presente "Reglamento".

ARTICULO 116.- Para efectos del artículo 77, párrafo tercero, de la "Ley", las unidades de drenaje se podrán constituir total o parcialmente en unidades o distritos de riego, siendo aplicable para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas lo que la "Ley" y su "Reglamento" establece para unidades o distritos de riego, según sea el caso, y para la construcción, administración, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica federal, se atenderá a lo que la "Ley" y su "Reglamento" establecen para las unidades de drenaje o en su caso para los distritos y unidades de riego.

ARTICULO 117.- En cada unidad de drenaje se deberá integrar un comité hidráulico, al cual le serán aplicables, en lo conducente, las disposiciones para la integración y operación de los comités hidráulicos de los distritos de riego, en los términos de los artículos 98 y 99 de este "Reglamento".

"La Comisión" nombrará al Ingeniero en Jefe de la unidad de drenaje, quien presidirá dicho comité hidráulico.

Capítulo III

Uso en Generación de Energía Eléctrica

ARTICULO 118.- "La Comisión", en los términos del artículo 22 de la "Ley" y del presente "Reglamento" podrá hacer la reserva necesaria para concesionar mediante concurso y en los términos del artículo 40 de este "Reglamento", el aprovechamiento de aguas nacionales para usos múltiples, incluida la generación de energía eléctrica, para lo cual publicará la reserva de agua respectiva.

Cuando exista la posibilidad de utilizar con fines hidroeléctricos la infraestructura hidráulica federal, el concurso a que se refiere el párrafo anterior podrá comprender, igualmente, la concesión de dicha infraestructura.

Previamente, "La Comisión" elaborará y aprobará las bases de la convocatoria a que ha de sujetarse el concurso.

ARTICULO 119.- En las solicitudes de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales para la producción de fuerza motriz o energía eléctrica, el solicitante deberá presentar a "La Comisión" el proyecto constructivo que trate de desarrollar, la aplicación que se le dará, el sitio de devolución del agua y las acciones a realizar en materia de control y preservación de la calidad del agua y en materia de impacto ambiental, prevención y control de avenidas, y la no afectación de los flujos de las corrientes.

ARTICULO 120.- No se requerirá de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua, en los términos del artículo 80 de la "Ley", cuando sea para generación de energía hidroeléctrica en pequeña escala, entendida como tal aquella que realizan personas físicas o morales aprovechando las corrientes de ríos y canales, sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad, y cuya capacidad de generación no exceda de 0.5 Megavatios.

Sin perjuicio de lo anterior, las personas físicas o morales a que se refiere este precepto deberán cumplir, en todo caso, con lo dispuesto en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.

ARTICULO 121.- "La Comisión" podrá aprovechar las aguas nacionales y la infraestructura hidráulica federal para generar energía eléctrica destinada a la prestación de los servicios hidráulicos federales a su cargo, y disponer de los excedentes, en los términos que señale la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento, conforme a lo dispuesto en el artículo 79 de la "Ley".

ARTICULO 122.- "La Comisión" otorgará a la Comisión Federal de Electricidad sin mayor trámite, la asignación de aguas nacionales para la generación de energía eléctrica con base en la programación hidráulica a que se refiere el Título Tercero de la "Ley" y a las reservas decretadas para tal uso conforme al Título Quinto de la misma.

ARTICULO 123.- La coordinación en los estudios y programación que realicen la Comisión Federal de Electricidad y "La Comisión", en los términos del artículo 78 de la "Ley", se realizará en el seno de su respectivo órgano de gobierno y consejo.

Capítulo IV

Uso en Otras Actividades Productivas

ARTICULO 124.- Para la extracción, explotación, uso o aprovechamiento de las aguas en zonas de veda o reglamentadas, distintas a las provenientes del laboreo de las minas, así como respecto de las aguas superficiales comprendidas dentro del lote que ampare una concesión minera, se estará a lo establecido por los artículos 42, 43 y 82 de la "Ley".

Se entiende por aguas provenientes del laboreo de las minas, aquéllas del subsuelo que necesariamente deban extraerse para permitir la realización de obras y trabajos de exploración y explotación.

Los titulares de concesiones mineras o sus causahabientes, que aprovechen las aguas a que se refiere el párrafo anterior, estarán obligados a:

- I.- Obtener el permiso de descarga de aguas residuales en cuerpos receptores que sean bienes nacionales;
- II.- Cumplir con las normas oficiales mexicanas para presas de jales, y
- III.- Poner a disposición de "La Comisión" el agua sobrante o disponible después del uso o aprovechamiento que se realice, con base en los derechos que confieren tales concesiones.

ARTICULO 125.- "La Comisión" establecerá la coordinación necesaria con la Secretaría de Pesca, a fin de facilitar la resolución simultánea de las concesiones que en el ámbito de sus respectivas competencias tengan que expedir en materia de agua y acuacultura.

ARTICULO 126.- El uso de agua en estado de vapor para la generación de energía eléctrica y el uso de agua para enfriamiento, se considerará uso industrial.

Capítulo V

Control de Avenidas y Protección Contra Inundaciones

ARTICULO 127.- "La Comisión" fomentará el establecimiento de programas integrales de control de avenidas y prevención de daños por inundaciones, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas que al efecto se requieran. Dentro de la programación hidráulica se fomentará el desarrollo de proyectos de infraestructura para usos múltiples, en los cuales se considere el control de avenidas y la protección contra inundaciones.

Conforme a lo anterior, "La Comisión" podrá prestar la asesoría y apoyo técnico que se le requieran para el diseño y construcción de las obras que controlen corrientes de propiedad nacional, así como las relativas a la delimitación de zonas federales. El comportamiento y operación de las obras que no diseñe o construya directamente "La Comisión" será responsabilidad de quien las realice.

ARTICULO 128.- "La Comisión" establecerá un sistema de pronóstico y alerta contra inundaciones y organizará la formulación de planes regionales de operación para aminorar los daños por inundación e implantar las medidas de emergencia conducentes.

ARTICULO 129.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia y en coordinación con las demás autoridades competentes y con las personas responsables, promoverá la integración y actualización de un inventario del estado de las obras hidráulicas públicas, privadas o sociales, con la finalidad de identificar medidas necesarias para la protección de la infraestructura hidráulica.

Conforme a lo anterior, la ejecución de las medidas identificadas será responsabilidad de los titulares de las obras y en su caso de los administradores o concesionarios que tengan a su cargo su operación y conservación, sin perjuicio de la responsabilidad que corresponda a los primeros.

ARTICULO 130.- "La Comisión", conforme a los lineamientos que acuerde su Consejo Técnico, promoverá el establecimiento y aplicación de fondos de contingencia, integrados con aportaciones de la Federación, de los gobiernos de las entidades federativas y de las personas interesadas, para lograr la disminución de daños y prever la solución de problemas.

ARTICULO 131.- Para efectos de los artículos 83 y 98 de la "Ley", "La Comisión", en el ámbito de su competencia, otorgará el permiso para la construcción de obras públicas de protección contra inundaciones o promoverá su construcción y operación, según sea el caso, en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, o en concertación con las personas físicas o morales interesadas

No quedan comprendidas en lo dispuesto en este artículo, las obras públicas de drenaje pluvial en los centros de población, las cuales están a cargo y bajo la responsabilidad de las autoridades locales.

ARTICULO 132.- "La Comisión" promoverá y, en su caso, realizará los estudios necesarios que permitan clasificar las zonas inundables asociadas a eventos con diferente probabilidad de ocurrencia, en atención a los riesgos que presentan a corto y largo plazos. Asimismo promoverá, dentro de la programación hidráulica, el establecimiento de las zonas restringidas y de normas para el uso de dichas zonas, que establezcan las características de las construcciones con objeto de evitar pérdidas de vidas y daños

TITULO SEPTIMO
PREVENCION Y CONTROL DE LA
CONTAMINACION DE LAS AGUAS
Capítulo Unico

ARTICULO 133.- Para los efectos de las fracciones IV, V y VII, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" ejercerá las facultades que corresponden a la autoridad federal en materia de prevención y control de la contaminación del agua, conforme a lo establecido en la propia "Ley" y en este "Reglamento", así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, excepto aquellas que conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y otras disposiciones legales, estén atribuidas a otra dependencia:

ARTICULO 134.- Las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas, bajo su responsabilidad y en los términos de ley, a 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.

ARTICULO 135.- Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley", deberán:

- I.- Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión", o en su caso, presentar el aviso respectivo a que se refiere la "Ley" y este "Reglamento";
- II.- Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando esto sea necesario para cumplir con las obligaciones establecidas en el permiso de descarga correspondiente;
- III.- Cubrir, cuando proceda, el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales;
- IV.- Instalar y mantener en buen estado, los dispositivos de aforo y los accesos para muestreo que permitan verificar los volúmenes de descarga y las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga;
- V.- Informar a "La Comisión" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente;

- VI.- Hacer del conocimiento de "La Comisión", los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que vienen operando, y que no estuvieran considerados originalmente en las condiciones particulares de descarga que se les hubieran fijado;
- VII.- Operar y mantener por sí o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, así como para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores;
- VIII.- Sujetarse a la vigilancia y fiscalización que para el control y prevención de la calidad del agua establezca "La Comisión", de conformidad con lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento";
- IX.- Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descarguen o infiltren en los términos de ley y demás disposiciones reglamentarias;
- X.- Conservar al menos durante tres años el registro de la información sobre el monitoreo que realicen, en los términos de las disposiciones jurídicas, normas, condiciones y especificaciones técnicas aplicables, y
- XI.- Las demás que señalen las leyes y disposiciones reglamentarias.

Las Jescargas de aguas residuales de uso doméstico que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado, se podrán llevar a cabo con sujeción a las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan y mediante un simple aviso.

ARTICULO 136.- En los permisos de descargas de las aguas residuales de los sistemas públicos de alcantarillado y drenaje, además de lo dispuesto en el artículo anterior, se deberá señalar la forma conforme a lo dispuesto en la ley para efectuar:

- I.- El registro, monitoreo continuo y control de las descargas de aguas residuales que se viertan a las redes públicas de alcantarillado;
- II.- La verificación del estado de conservación de las redes públicas de alcantarillado con el fin de detectar y corregir, en su caso, las posibles fugas que incidan en la calidad de las aguas subterráneas subyacentes y en la eventual contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua, y
- III.- El monitoreo de la calidad del agua que se vierte a las redes públicas de alcantarillado, con objeto de detectar la existencia de materiales o residuos peligrosos que por su corrosividad, toxicidad, explosividad, reactividad o inflamabilidad puedan representar grave riesgo al ambiente, a las personas o sus bienes.

Las personas que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas expedidas para el pretratamiento y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el Municipio o que se emitan conforme al artículo 119, fracción I, inciso f) de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

ARTICULO 137.- Es responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto de la "Ley", incluidas las unidades y los distritos de riego, cumplir con las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de sustancias, que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

"La Comisión" promoverá y realizará, en su caso, las acciones y medidas necesarias, y se coordinará con las autoridades competentes para la expedición de las normas oficiales mexicanas que se requieran para hacer compatible el uso del suelo con los objetivos de prevención y control de la contaminación de las aguas y bienes nacionales. En la fijación de normas oficiales mexicanas para el uso del suelo, que puedan afectar aguas nacionales, se deberá recabar la opinión técnica de "La Comisión".

ARTICULO 138.- Las solicitudes de permiso de descarga de aguas residuales que se presenten a "La Comisión", deberán contener:

- I.- Nombre, domicilio y giro o actividad de la persona física o moral que realice la descarga;
- II.- Relación de insumos utilizados en los procesos que generan las descargas de aguas residuales y de otros insumos que generen desechos que se descarguen en los cuerpos receptores;
- III.- Croquis y descripción de los procesos que dan lugar a las descargas de aguas residuales;
- IV.- Volumen y régimen de los distintos puntos de descarga, así como la caracterización físico-química y bacteriológica de la descarga;
- V.- Nombre y ubicación del cuerpo o cuerpos receptores;
- VI.- Croquis de localización de la descarga o descargas, así como en su caso de las estructuras e instalaciones para su manejo y control, y

VII.- Descripción, en su caso, de los sistemas y procesos para el tratamiento de aguas residuales para satisfacer las condiciones particulares de descarga que establezca "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento".

La solicitud deberá acompañarse de la memoria técnica que fundamente la información a que se refiere el presente artículo y, en especial, a la forma en que el solicitante cumplirá con las normas, condiciones y especificaciones técnicas establecidas.

Quedan exceptuados de cumplir con el requisito de la caracterización físico-química y bacteriológica mencionada en la fracción IV y de la memoria técnica que se menciona en el párrafo anterior, los usuarios siguientes:

- a) Las poblaciones con menos de 2,500 habitantes, y
- b) Las empresas que en su proceso o actividad productiva no utilicen como materia prima sustancias que generen en sus descargas de aguas residuales metales pesados, cianuros u organotóxicos y su volumen de descarga no exceda de 300 metros cúbicos al día."

ARTICULO 139.- Los permisos de descarga de aguas residuales contendrán:

- I.- Ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad;
- II.- Los parámetros, así como las concentraciones y cargas máximas correspondientes, que determinan las condiciones particulares de descarga del permisionario;
- III.- Obligaciones generales y específicas a las que se sujetará el permisionario para prevenir y controlar la contaminación del agua, incluidas:
 - a). Forma y procedimientos para la toma de muestras y la determinación de las cargas contaminantes, y
 - b). Forma en que se presentará a "La Comisión" la información que les solicite, sobre el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga
- IV.- Forma y, en su caso, plazos en que se ajustará a lo dispuesto en las condiciones y especificaciones técnicas que señale "La Comisión", para los puntos de descarga autorizados, incluida la construcción de las obras e instalaciones para la recirculación de las aguas y para el manejo y tratamiento de las aguas residuales, y
- V.- Duración del permiso.

ARTICULO 140.- Para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los parámetros y límites máximos permisibles contenidos en las normas oficiales mexicanas 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 los términos del artículo 87 de la "Ley".

Asimismo, para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los derechos de terceros para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales del cuerpo receptor de que se trate, las restricciones que imponga la programación hidráulica aprobada en los términos de la "Ley" y el "Reglamento" y las demás consideraciones de interés público o de salubridad general que, debidamente fundadas y motivadas, emitan las autoridades competentes y que establezcan restricciones adicionales para la descarga de aguas residuales en los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley".

ARTICULO 141.- "La Comisión", conforme a las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes, las metas y plazos establecidos en la programación hidráulica y las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, podrá modificar las condiciones particulares de descarga, señalando a los permisionarios el plazo para que sus descargas se ajusten a las mismas.

Las condiciones particulares de descarga no podrán ser modificadas sino después de transcurridos cinco años, contados a partir de su expedición o modificación, salvo situaciones comprobadas de emergencia para evitar graves daños a la salud, a un ecosistema o a terceros.

ARTICULO 142.- Para efectos de la fracción III, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" podrá publicar en el Diario Oficial de la Federación los parámetros y concentraciones máximas que por lo menos deberán observar las condiciones particulares de descarga de aguas residuales.

ARTICULO 143.- "La Comisión" establecerá las condiciones particulares que deberán cumplir las descargas de aguas residuales previo a su posterior explotación, uso o aprovechamiento; asimismo, fijará las que deberán cumplir en el caso de su infiltración a un acuífero.

"La Comisión" podrá otorgar el permiso para recargar acuíferos con aguas depuradas, en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento".

ARTICULO 144.- En la observancia de lo dispuesto en la "Ley" y en relación con el artículo 139, fracción III, de este "Reglamento", la toma de muestras y el análisis de las mismas, deberán ajustarse a los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y en su caso a lo que establezcan las condiciones particulares y los permisos que al efecto emita "La Comisión".

ARTICULO 145.- El diseño, construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones de captación, conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de aguas residuales deberá sujetarse a las normas oficiales mexicanas que expida "La Comisión".

Los permisionarios quedarán obligados a cumplir con todas y cada una de las condiciones del permiso de descarga correspondiente y, en su caso, a mantener las obras e instalaciones del sistema de tratamiento en condiciones satisfactorias de operación.

ARTICULO 146.- Cuando para el cumplimiento de la obligación legal de tratar aguas residuales, se contraten o utilicen los servicios de empresas que realicen dicha actividad, estas últimas serán las que soliciten el permiso de descarga de aguas residuales y cumplirán con lo dispuesto en este Capítulo, siempre que utilicen bienes nacionales como cuerpos receptores de las descargas de las plantas de tratamiento respectivas.

En el caso del párrafo anterior, las personas físicas o morales que contraten o utilicen los servicios mencionados, serán, conforme a la ley, solidariamente responsables con las empresas que traten aguas residuales del cumplimiento de lo dispuesto en la "Ley" y el presente "Reglamento" en materia de control y prevención de la calidad de las aguas.

Independientemente de lo anterior, si antes de llegar a la planta de tratamiento, se descargan aguas residuales a corrientes o depósitos de aguas nacionales, se deberá contar con el permiso de descarga respectivo.

ARTICULO 147.- Si llegara a suspenderse la operación del sistema del tratamiento, aunque sea en forma temporal, el responsable deberá dar aviso a "La Comisión". En caso de ser injustificada la suspensión y se puedan ocasionar graves perjuicios a la salud o la seguridad de la población o graves daños al ecosistema, "La Comisión" podrá ordenar la suspensión de los procesos que dan origen a la descarga, conforme al procedimiento establecido en el artículo 153 de este "Reglamento", hasta en tanto sea restablecida la operación del sistema de tratamiento; independientemente de esto, "La Comisión" lo hará del conocimiento, de manera inmediata, a las autoridades competentes.

ARTICULO 148.- Los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales, deberán estabilizarse en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias de la materia.

Los sitios para su estabilización deberán:

- I.- Impermeabilizarse con materiales que no permitan el paso de lixiviados, y
- II.- Contar con drenes o con estructuras que permitan la recolección de lixiviados.

Cuando los lodos una vez estabilizados y desaguados presenten concentraciones no permisibles de sustancias peligrosas, contraviniendo las normas oficiales mexicanas, deberán enviarse a sitios de confinamiento controlado aprobados por la autoridad competente, conforme a la normatividad aplicable en materia de residuos peligrosos.

Las aguas producto del escurrimiento y de los lixiviados deberán ser tratadas antes de descargarse a cuerpos receptores.

ARTICULO 149.- Cuando se efectúen en forma fortuita una o varias descargas de aguas residuales sobre cuerpos receptores que sean bienes nacionales, los responsables deberán avisar de inmediato a "La Comisión", especificando volumen y características de las descargas, para que se promuevan o adopten las medidas conducentes por parte de los responsables o las que, con cargo a éstos, realizará "La Comisión" y demás autoridades competentes.

Los responsables de las descargas estarán obligados a llevar a cabo las labores de remoción y limpieza del contaminante de los cuerpos receptores afectados por la descarga. En caso de que el responsable no dé aviso, los daños que se ocasionen, serán determinados y cuantificados por "La Comisión" en el ámbito de su competencia, y se notificarán a las personas físicas o morales responsables, para su pago conforme a la ley.

La determinación y cobro del daño causado sobre las aguas y los bienes nacionales a que se refiere este artículo, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley, en cuyo caso, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las dependencias que por sus atribuciones estuvieran involucradas.

La falta del aviso a que se refiere el primer párrafo de este artículo se sancionará conforme a la ley.

ARTICULO 150.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, promoverá las medidas preventivas y de control para evitar la contaminación de las aguas superficiales o las del subsuelo por materiales y residuos peligrosos.

En el caso de que el vertido o infiltración de dichos materiales y residuos peligrosos contaminen las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, o los bienes nacionales a que se refiere la "Ley", "La Comisión" determinará las medidas correctivas que deban llevar a cabo las personas físicas o morales responsables o las que, con cargo a éstas, efectuará "La Comisión".

El daño causado se determinará y cuantificará por "La Comisión", en el ámbito de su competencia, y se notificará a los responsables la resolución respectiva y se gestionará su cobro conforme a la "Ley".

El pago del daño causado, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley. Para los efectos respectivos, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las autoridades involucradas.

ARTICULO 151.- Se prohíbe depositar, en los cuerpos receptores y zonas federales, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de descarga de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas respectivas.

ARTICULO 152.- Para efectos de la fracción V, del artículo 86 de la "Ley", se incluyen en las aguas para uso y consumo humano, las que se suministren a través de servicios públicos sujetos al cumplimiento de las normas de potabilidad de cualquier tipo y forma.

Los responsables de los sistemas públicos de abastecimiento de agua potable a las poblaciones o a las colonias y fraccionamientos, en los términos de una concesión o asignación expedida por "La Comisión", están obligados a contar con los dispositivos de desinfección conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

ARTICULO 153.- Para efectos del artículo 92 de la "Ley", para poder ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, "La Comisión" seguirá el siguiente procedimiento:

- I.- Se realizará visita de inspección a las instalaciones de la persona, cuando considere que les son aplicables la "Ley" y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, de conformidad con lo que señalan las mismas;
- II.- Se levantará acta circunstanciada de la visita de inspección, aplicando en lo conducente lo dispuesto en el artículo 122 de la "Ley" y en los artículos 184 y 185 de este "Reglamento", precisando las actividades que den origen a la descarga;

- III.- En el caso de infracción a las fracciones II, III y IV, del artículo 92 de la "Ley", se otorgará un plazo de quince días hábiles para corregir su situación, que se podrá ampliar por la autoridad en casos justificados, bajo el apercibimiento de que en caso de incumplimiento y previa resolución, se procederá a la suspensión o clausura de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales;
- IV.- En el caso de infracción a la fracción I del artículo 92 de la "Ley" o de haber transcurrido el plazo a que se refiere la fracción anterior sin que hubiere corregido la infracción, se procederá a notificar la resolución respectiva y a fijar los sellos de suspensión o clausura de las actividades que den origen a la descarga, y
- V.- Se levantará la suspensión o clausura cuando se cumpla o se garantice a "La Comisión" el cumplimiento a lo dispuesto en la "Ley".

La suspensión o clausura de actividades, será independiente de la aplicación de las sanciones que conforme a derecho procedan o el cobro de las contribuciones respectivas.

ARTICULO 154.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, realizará un monitoreo sistemático y permanente de la calidad de las aguas nacionales continentales, y establecerá y mantendrá actualizado el sistema nacional de información de la calidad del agua a partir de:

- I.- Los estudios y el monitoreo de la calidad de las aguas continentales y marinas, que se lleven a cabo en los términos previstos en la "Ley" y el presente "Reglamento";
- II.- El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales, y
- III.- El inventario nacional de descargas de aguas residuales que llevará "La Comisión".

En los casos de aguas de jurisdicción local, "La Comisión" se coordinará con las autoridades de los estados y municipios.

ARTICULO 155.- Para la preservación de los humedales, que se vean afectados por los regímenes de las corrientes de aguas nacionales, "La Comisión" tendrá las siguientes atribuciones:

- I.- Delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquellos inundados por aguas nacionales, cuando tal característica los convierta en un ecosistema acuático o hidrológico que conforme a la "Ley", requiere de su preservación;

- II.- Promover, en los términos de "Ley" y del artículo 78, fracción IV, del presente "Reglamento", las reservas de aguas nacionales o la reserva ecológica conforme a la ley de la materia, que en su caso requiera la preservación de los humedales;
- III.- Expedir las condiciones particulares obligatorias para preservar, proteger y, en su caso, restaurar los humedales y no afectar la calidad de las aguas nacionales que los alimenten, ni el ecosistema acuático o hidrológico o los panoramas escénicos, turísticos y recreativos que forman parte de los mismos;
- IV.- Promover y, en su caso, realizar las acciones y medidas necesarias para rehabilitar o restaurar los humedales, así como para fijar un entomo natural o perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar las condiciones hidrológicas y el ecosistema, y
- V.- Otorgar permisos para desecar terrenos en humedales cuando se trate de aguas y bienes nacionales a cargo de "La Comisión", con fines de protección o para prevenir daños a la salud pública, cuando no competan a otra dependencia.

Para el ejercicio de las atribuciones a que se refiere el presente artículo, "La Comisión" se coordinará con las demás autoridades que deban intervenir o participar en el ámbito de su competencia.

ARTICULO 156.- Con el objeto de apoyar la prevención y control de la contaminación del agua, "la Comisión" podrá:

- I.- Promover ante las autoridades educativas, la incorporación de programas educativos para orientar sobre la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional;
- II.- Fomentar que las asociaciones, colegios de profesionistas y cámaras de la industria y el comercio, así como otros organismos afines, orienten a sus miembros sobre el uso de métodos y tecnologías que reduzcan la contaminación del agua y aseguren su aprovechamiento racional, y
- III.- Apoyar estudios e investigaciones encaminados a generar conocimientos y tecnologías que permitan la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional.

TITULO OCTAVO

INVERSION EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA

Capítulo I

Disposiciones Generales

ARTICULO 157.- Para efectos del artículo 98 de la "Ley", las personas que pretendan realizar obras que impliquen desviación del curso de las aguas nacionales de su cauce o vaso, alteración al régimen hidráulico de las corrientes o afectación de su calidad, al solicitar el permiso respectivo de "La Comisión", deberán acompañar el proyecto y programa de ejecución de las obras que pretendan realizar, y demostrar que no se afecta riesgosamente el flujo de las aguas ni los derechos de terceros aguas abajo.

"La Comisión" resolverá si acepta o rechaza el proyecto y, en su caso, dará a conocer a los interesados las modificaciones que deban de hacer a éste para evitar que cualquier afectación al régimen hidrológico de las corrientes no imponga riesgos en la seguridad de las personas y sus bienes, no altere la calidad del agua ni los derechos de terceros.

En el permiso respectivo, "La Comisión" fijará los plazos aproximados para que los solicitantes realicen los estudios y formulen los proyectos definitivos, inicien las obras y las terminen.

El procedimiento a que se refiere este artículo se aplicará a las obras o trabajos que se realicen para dragar, desecar y en general, modificar el régimen hidráulico de los cauces, vasos, lagos, lagunas y demás depósitos de agua de propiedad nacional.

ARTICULO 158.- "La Comisión" promoverá y, a solicitud de las correspondientes autoridades estatales y municipales, proporcionará con los recursos disponibles al efecto, la asistencia técnica para la elaboración de los estudios y los proyectos de las obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

"La Comisión" a solicitud de las dependencias y entidades de la administración pública federal, de las correspondientes autoridades estatales o municipales o sus entidades paraestatales, de los representantes de organizaciones de usuarios y de los particulares, proporcionará, con los recursos disponibles al efecto, asistencia técnica para la realización de proyectos, así como para la construcción, operación y conservación de obras e instalaciones, con objeto de propiciar el adecuado desarrollo hidráulico, el uso eficiente del agua y la conservación de su calidad.

Capítulo II

Participación de Inversión Privada y Social en Obras Hidráulicas Federales

ARTICULO 159.- Para que "La Comisión" pueda celebrar con particulares, contratos de obras públicas con la modalidad de inversión recuperable, en los términos de la fracción I, del artículo 102 de la "Ley", será menester que se lleven a cabo los procedimientos de adjudicación y formalización de los contratos de obra pública, en los términos establecidos en la ley aplicable en materia de obra pública, cuando la inversión se realice total o parcialmente con recursos federales o mediante créditos avalados por el Gobierno Federal.

En las bases del concurso se determinarán los casos en los cuales quedarán bajo la responsabilidad integral de los particulares, la ejecución de las obras y la operación de la infraestructura hidráulica federal. En la convocatoria se podrá establecer la precalificación de postores y exigir garantías de seriedad.

ARTICULO 160.- Las concesiones para que, parcial o totalmente, se pueda operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar la infraestructura hidráulica construida por el Gobierno Federal y la prestación de los servicios hidráulicos federales respectivos, a que se refiere la fracción II, del artículo 102 de la "Ley", se ajustarán a lo siguiente:

- I.- Se convocará a los usuarios de la infraestructura hidráulica para que una vez organizados en personas morales, puedan presentar posturas y participen en el concurso de la concesión respectiva;
- II.- Se convocará igualmente a terceros interesados y se procederá a efectuar el concurso respectivo;
- III.- Podrán participar los interesados que demuestren su solvencia económica, así como su capacidad técnica, administrativa y financiera, y cumplan con los requisitos que establezcan las bases que expida "La Comisión";
- IV.- Las bases del concurso incluirán los criterios con los que se seleccionará el ganador, así como la duración, regulación y terminación del título de concesión respectivo, tomando en cuenta lo señalado para el concurso de las concesiones para el aprovechamiento de aguas nacionales, en lo que les sea aplicable;
- V.- Junto con la concesión para el aprovechamiento de infraestructura y servicios hidráulicos federales, se podrá otorgar la concesión para el respectivo aprovechamiento de aguas nacionales;

- VI.- El otorgamiento de las concesiones se efectuará en un solo título y se sujetará a un solo concurso conforme a la convocatoria que al efecto se expida por "La Comisión";
- VII.- En igualdad de circunstancias, los usuarios a que se refiere la fracción I, de este artículo, tendrán derecho de preferencia;
- VIII.- "La Comisión" con base en el análisis comparativo de las proposiciones admitidas, emitirá fallo debidamente fundado y motivado, el cual será dado a conocer a todos los participantes;
- IX.- Una vez dictada la resolución, y cuando así proceda, "La Comisión" adjudicará la concesión, y
- X.- No se adjudicará la concesión cuando la o las proposiciones presentadas no cumplan con las bases del concurso. En este caso, se declarará desierto el concurso y se procederá a expedir una nueva convocatoria.
- XI.- No será aplicable lo dispuesto en este artículo a las concesiones a que se refiere el artículo 65 de la "Ley", a las cuales se les aplicará lo dispuesto en el artículo 97 de este "Reglamento".

ARTICULO 161.- Las concesiones para que parcial o totalmente se pueda construir, equipar y operar la infraestructura hidráulica federal y para prestar el servicio hidráulico federal respectivo, a que se refiere la fracción III, del artículo 102 de la "Ley", se ajustarán a lo dispuesto en el artículo anterior, salvo las fracciones I y VII. La convocatoria fijará las bases mínimas para obtener las concesiones y podrá comprender una precalificación de postores y exigir garantías de seriedad.

La selección entre las empresas participantes se efectuará tomando en cuenta las tarifas mínimas señaladas en las bases de la convocatoria, conforme a lo dispuesto en el artículo 103 de la "Ley".

ARTICULO 162.- Las obligaciones de los titulares de las concesiones a que se refiere este capítulo, serán las siguientes:

- I.- Utilizar la infraestructura concesionada sólo para los fines de la concesión, sin poderlas utilizar para otros fines sin permiso previo de "La Comisión";
- II.- Operar, conservar, mantener, rehabilitar, mejorar y ampliar la infraestructura en los términos del título de concesión;
- III.- Mantener las características de las obras e instalaciones existentes y no cambiarlas a menos que sea necesario y se haya aprobado el proyecto por "La Comisión";

- IV.- Ejercitar en los términos de la concesión, los derechos afectos a la misma sin poderlos transmitir a terceros, en todo o en parte, sin permiso previo y por escrito de "La Comisión".
- V.- Cubrir los derechos y aprovechamientos por la explotación y supervisión de los servicios y obras concesionadas, en los términos de la ley y el título respectivo;
- VI.- Llevar a cabo las medidas de impacto ambiental necesarias y, en general, cumplir con lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en la Materia;
- VII.- Contratar por su cuenta y mantener en vigor las pólizas de seguros contra riesgos respecto a las construcciones e instalaciones existentes en el área concesionada, en el concepto de que el importe de la indemnización en su caso, deberá aplicarse a la reparación del o los daños causados, y
- VIII.- Las demás que señale el título de concesión en los términos del concurso.

ARTICULO 163.- Para efectos del artículo 105 de la "Ley", la autorización que el concesionario solicite a "La Comisión" para otorgar en garantía los derechos sobre los bienes concesionados, se otorgará cuando se demuestre que la garantía sirva para respaldar créditos destinados a la construcción, operación, conservación, mantenimiento, rehabilitación, mejoramiento y ampliación de la misma infraestructura hidráulica concesionada, así como para eficientar la prestación de servicios, y no comprendan los comprometidos para los pagos que se tienen que hacer a "La Comisión"

En todo caso las garantías se ajustarán a lo dispuesto en las leyes aplicables.

ARTICULO 164.- "La Comisión" podrá autorizar la cesión total de las obligaciones y derechos derivados de las concesiones, siempre que la concesión hubiere estado vigente por un lapso no menor de tres años; que el cedente haya cumplido con sus obligaciones, y que el cesionario reúna los mismos requisitos que se tuvieron en cuenta para el otorgamiento de la concesión respectiva y se subrogue en los derechos y obligaciones del cedente.

En estos casos, "La Comisión" deberá vigilar que el adquirente provea lo necesario para que la transmisión no afecte la operación, conservación y mantenimiento de las obras, la continuidad de los servicios y el cobro de las cuotas respectivas

ARTICULO 165.- "La Comisión" sólo podrá declarar la terminación de la concesión en los casos previstos en ley, y previa comprobación de la causa justificada respectiva.

Previamente, "La Comisión", de oficio o a petición de tercero interesado, tramitará el expediente respectivo y dará a conocer al concesionario las causas de terminación. El concesionario dispondrá de un término de quince días hábiles para su defensa.

En los casos de revocación, se estará al procedimiento que se señala en el artículo 49 de este "Reglamento".

ARTICULO 166.- Al término del plazo de la concesión, o de la última prórroga en su caso, los bienes nacionales concesionados revertirán al dominio de la Federación, así como las obras e instalaciones adheridas de manera permanente a los mismos.

"La Comisión" podrá exigir al concesionario que, al término de la concesión y previamente a la entrega de los bienes, proceda por su cuenta y costo a la demolición y remoción de aquellas obras e instalaciones que hubiere ejecutado y que por sus condiciones, ya no sean de utilidad a juicio de "La Comisión".

TITULO NOVENO

BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISION"

Capítulo Unico

ARTICULO 167.- Los propietarios de los terrenos colindantes con los bienes nacionales a cargo de "La Comisión", a que se refiere el artículo 113 de la "Ley", deberán permitir, cuando no existan vías públicas u otros accesos para ello, el libre acceso a dichos bienes por lugares que para el efecto convenga "La Comisión" con los propietarios, teniendo derecho al pago de la compensación que fije "La Comisión" con base en la justipreciación que se formule conforme a la ley.

En caso de negativa por parte del propietario colindante, "La Comisión" solicitará la intervención de la Procuraduría General de la República, para que por su conducto, se inicie el juicio respectivo tendiente a obtener la declaratoria de servidumbre de paso.

ARTICULO 168.- Los propietarios de los terrenos colindantes o aledaños a las riberas o a la zona federal a cargo de "La Comisión", de conformidad con lo que prevé el párrafo tercero del artículo 114 de la "Ley", deberán dar aviso por escrito a la misma cuando tengan conocimiento de que debido a las corrientes o movimientos de agua en los vasos se estén cubriendo o inundando sus terrenos en forma continua o cíclica.

En este caso, los interesados darán aviso asimismo de la ejecución de las obras de defensa o rectificación que en su caso pretendan realizar, mismas que deberán sujetarse a los requisitos técnicos que establezca "La Comisión".

ARTICULO 169.- "La Comisión" al recibir el aviso al que se refiere el artículo anterior, podrá:

- I.- Practicar inspección en el lugar;
- II.- Notificar al interesado para que presente el proyecto ejecutivo de las obras de defensa o de rectificación para su sanción por "La Comisión";
- III.- En el caso de rectificación, publicar un aviso en el Diario Oficial de la Federación convocando a los colindantes para que el día y hora que se señale estén presentes y conozcan hasta dónde llegarán los límites de la zona federal, levantando acta de ello.

ARTICULO 170.- Los afectados que hagan uso del derecho a que se refiere el artículo 115 de la "Ley", deberán presentar título o documento que compruebe fehacientemente su propiedad.

"La Comisión" llevará a cabo los estudios para determinar la parte proporcional de superficie que quede disponible para compensar al afectado. Los trabajos correspondientes serán con cargo a los beneficiarios.

ARTICULO 171.- Para efectos de los artículos 97 y 98 de la "Ley":

- I.- Sólo podrán ejecutarse obras para encauzamiento, dragado, limitación o desecación parcial o total de corrientes y depósitos de agua de propiedad nacional, previo permiso de "La Comisión", la que determinará la forma y términos para ejecutar dichas obras, y
- II.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá permitir la construcción de canales y dársenas en la ribera o zona federal de corrientes, lagos o lagunas a su cargo.

El permiso a que se refiere el presente artículo se podrá tramitar conjuntamente con la concesión de la zona federal a cargo de "La Comisión", cuando ésta se requiera para el proyecto aprobado o con motivo de la actividad a realizar.

ARTICULO 172.- Para efectos del artículo anterior, los permisos que se otorguen para realizar las obras respectivas, deberán contener entre otros los siguientes datos.

- I.- Nombre, nacionalidad y domicilio de la persona física o moral a quien se otorgue el permiso,
- II.- Plazo para la realización de las obras;
- III.- Condiciones técnicas que deban cumplirse, y
- IV.- Uso o aprovechamiento que se hubiese solicitado para los terrenos que se ganen con el encauzamiento, limitación o desecación de la corriente o vaso respectivo.

ARTICULO 173.- Para efectos del artículo 117 de la "Ley", cuando la zona federal de corrientes, lagos y lagunas se encuentren dentro del perímetro o fundo legal de las poblaciones de su jurisdicción, las autoridades estatales o municipales acompañarán a su solicitud el plano del área urbana, para que se determinen las zonas federales de supresión o desincorporación.

Revisados y aprobados los planos, "La Comisión" convocará a los colindantes a través de aviso de demarcación publicado en el Diario Oficial de la Federación y en la gaceta o periódico oficial de la o de las entidades federativas respectivas, para que el día y hora que se señale estén presentes y tengan conocimiento de los límites de la zona federal que colinda con su predio. Enterados y estando de acuerdo los colindantes con los linderos señalados, se levantará un acta en la que se hará constar su conformidad.

En el caso de que haya oposición, se continuará la diligencia de la demarcación y se recibirán los documentos que funden la oposición para que previo estudio, "La Comisión" resuelva lo que proceda.

ARTICULO 174.- Para efectos del artículo 118 de la "Ley", las solicitudes para obtener concesión para explotar, usar o aprovechar bienes nacionales a cargo de "La Comisión", deberán contener los siguientes datos y elementos:

- I.- Nombre, nacionalidad y domicilio del solicitante;
- II.- Cuando se trate de personas morales, se deberá acompañar el acta constitutiva de la empresa;
- III.- Localización y objeto de la explotación, uso o aprovechamiento;
- IV.- Descripción de la explotación, uso o aprovechamiento que se dará al área solicitada, las obras que en su caso se pretenden construir y los plazos para ejecución de las mismas, y
- V.- Término por el que se solicita la concesión.

Con la solicitud, se deberán presentar en su caso los planos de las obras proyectadas y una memoria descriptiva de las mismas. Su construcción no deberá perjudicar el régimen hidráulico ni lesionará derechos de terceros..

La solicitud deberá ser firmada por el interesado o por la persona que promueve en su nombre. En este último caso se deberá acreditar la personalidad del mandatario conforme al derecho común. En caso de que la solicitud tuviera deficiencia o se requiriera mayor información, se estará en lo conducente a lo dispuesto en el artículo 35 de este "Reglamento".

Lo dispuesto en el presente artículo será aplicable, en lo conducente, a las solicitudes de concesión para la explotación de materiales de construcción localizados en los cauces o vasos. Cuando se pretenda realizar la explotación de materiales deberán precisarse sus características, volúmenes de extracción, su valor comercial y el uso a que vayan a destinarse.

ARTICULO 175.- La preferencia en el otorgamiento de las concesiones a que se refiere el último párrafo del artículo 118 de la "Ley", para la explotación, uso o aprovechamiento de la zona federal a cargo de "La Comisión", no comprenderá el cauce, el vaso, ni los materiales de construcción.

ARTICULO 176.- La extracción de materiales pétreos sólo se podrá concesionar en los cauces y vasos, siempre y cuando no se afecten las zonas de protección o seguridad de los mismos. "La Comisión" no expedirá concesiones para la explotación de materiales pétreos de las riberas o zonas federales de los cauces y vasos de propiedad nacional.

Para el otorgamiento de concesiones para la extracción de materiales en cauces o vasos, se estará a lo siguiente:

- I.- En el caso de cauces cuyas características hidráulicas impidan la extracción de los materiales desde una de las márgenes, el concesionario deberá emplear procedimientos mecánicos que no afecten el libre flujo de la corriente;
- II.- En el caso de corrientes intermitentes, la extracción no deberá modificar en forma perjudicial la sección hidráulica natural, ni afectar los márgenes, la zona federal o la zona de protección, y
- III.- Los concesionarios para la extracción de materiales pétreos deberán recuperar los bancos de acuerdo con las condiciones ambientales y de paisaje de la zona donde se localicen, para lo cual deberán devolver al sitio los materiales resultado del despilme y, en su caso, el producto de excavaciones, mediante nivelaciones o cortes que faciliten la revegetación, de acuerdo con las normas que al efecto emita "La Comisión".

Las concesiones para la extracción de materiales pétreos podrán ser objeto de concurso, de acuerdo a las bases que para tal efecto se publiquen, en las cuales se considerará la explotación racional de los materiales y la mejoría de las condiciones hidráulicas del tramo concesionado.

Las concesiones se podrán otorgar por volumen o por el período de extracción solicitado.

ARTICULO 177.- En los títulos de concesión para explotación, uso o aprovechamiento de bienes nacionales a cargo de "La Comisión" se especificará:

- I.- El nombre de las corrientes y vasos;
- II.- La ubicación, descripción y delimitación o croquis del lugar y el área cuyo aprovechamiento se autoriza;
- III.- La explotación, uso o aprovechamiento objeto de la concesión;
- IV.- En su caso, la descripción de las obras aprobadas y, los plazos aproximados en que se deban concluir las obras autorizadas;
- V.- La obligación de no modificar sustancialmente el proyecto o las obras autorizadas, sin permiso de "La Comisión";
- VI.- Las modalidades a las que se deberá sujetar la concesión y las condiciones generales de orden técnico, jurídico y administrativo aplicables;
- VII.- La obligación de pago de los derechos o aprovechamientos conforme a la legislación fiscal aplicable, salvo cuando la ley exija que sea previo al otorgamiento de la concesión;

VIII.- La duración de la concesión, y

IX.- Las causas de su revocación o terminación.

ARTICULO 178.- El otorgamiento de concesión por parte de "La Comisión" será sin asumir responsabilidad por daños causados por avenidas ordinarias o extraordinarias.

En el título, "La Comisión" incluirá, cuando proceda, la obligación de garantizar el tránsito en el lugar ocupado, la servidumbre que proceda y el acceso a la corriente para que las aguas puedan ser utilizadas por medios manuales o para abrevadero de animales.

El otorgamiento de una concesión para explotar, usar o aprovechar bienes nacionales a cargo de "La Comisión" no implica por sí misma la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales ni la extracción de materiales de construcción de los cauces, salvo que así se señale expresamente en el título.

ARTICULO 179.- Los concesionarios a que se refiere el presente capítulo están obligados a.

- I.- Ejecutar únicamente la explotación, uso o aprovechamiento consignado en la concesión;
- II.- Iniciar el ejercicio de los derechos consignados en la concesión a partir de la fecha aprobada y concluir las obras aprobadas dentro de los plazos previstos en la concesión;
- III.- Cubrir los gastos de deslinde y amojonamiento del área concesionada;
- IV.- Realizar únicamente las obras aprobadas en la concesión o autorizadas posteriormente por "La Comisión";
- V.- Desocupar y entregar dentro del plazo establecido por "La Comisión" las áreas de que se trate en los casos de terminación de las concesiones,
- VI.- Cubrir oportunamente los pagos que deban efectuar conforme a la legislación fiscal aplicable y las demás obligaciones que las mismas señalan, y
- VII.- Cumplir con las obligaciones que se establezcan a su cargo en la concesión.

ARTICULO 180.- "La Comisión" declarará la terminación de la concesión en los casos previstos en la "Ley" y el presente "Reglamento".

Previamente, "La Comisión", de oficio o a petición de tercera persona interesada, tramitará el expediente respectivo y dará a conocer al concesionario las causas de terminación. El concesionario dispondrá de un término de quince días hábiles para su defensa.

En los casos de revocación se estará al procedimiento que se señala en el artículo 49 de este "Reglamento"

ARTICULO 181.- Al término del plazo de la concesión, o de la última prórroga en su caso, los bienes nacionales concesionados revertirán al dominio de la Federación, así como las obras e instalaciones adheridas de manera permanente a los mismos.

"La Comisión" podrá exigir al concesionario que, al término de la concesión y previamente a la entrega de los bienes, proceda por su cuenta y costo a la demolición y remoción de aquellas obras e instalaciones que hubiese ejecutado y que, por sus condiciones, ya no sean de utilidad a juicio de "La Comisión".

TITULO DECIMO

INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS

Capítulo I

Inspección y Vigilancia

ARTICULO 182.- "La Comisión" realizará los actos de inspección y vigilancia para verificar, en el ámbito de su competencia, el debido cumplimiento de:

- I.- La "Ley" y el presente "Reglamento";
- II.- La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;
- III.- La Ley Federal sobre Metrología y Normalización, respecto de las normas oficiales mexicanas de su competencia;
- IV.- La Ley Federal de Derechos;
- V.- La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, y
- VI.- Las demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

"La Comisión" podrá solicitar la documentación e información necesaria o efectuar visitas de inspección para vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.

"La Comisión" podrá igualmente realizar visitas de verificación del cumplimiento de la ley y de las normas oficiales mexicanas del ámbito de su competencia, en los términos del Título Quinto de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, aplicándose en lo que no se oponga a dichas disposiciones legales lo previsto en los artículos siguientes para las visitas de inspección.

ARTICULO 183.- Las visitas de inspección que se efectúen por "La Comisión" para verificar el cumplimiento de lo dispuesto en el artículo anterior, se efectuarán conforme a lo siguiente:

- I.- El personal autorizado, al realizar las visitas de inspección, deberá presentar la orden escrita debidamente fundada y motivada, expedida por autoridad competente, en la que se precisará el lugar o zona que habrá de inspeccionarse, el objeto de la diligencia y alcance de ésta;
- II.- El personal autorizado, al iniciar la inspección se identificará debidamente con el visitado con el documento oficial que lo acredite como inspector o auditor, exhibirá la orden respectiva y le entregará copia de la misma, requiriéndolo para que en el acto designe dos testigos. En caso de negativa o de que los designados no acepten fungir como testigos, el personal

autorizado podrá designarlos, haciendo constar esta situación en el acta administrativa que al efecto se levante, sin que esta circunstancia invalide los efectos de la inspección;

- III.- El visitado con quien se entiende la diligencia estará obligado a permitir al personal autorizado el acceso al lugar o lugares sujetos a la inspección, en los términos previstos en la orden escrita a que se hace referencia en la fracción I, de este artículo, así como a proporcionar toda clase de información y documentación que conduzca a la verificación del cumplimiento de la "Ley", este "Reglamento" y demás disposiciones legales y jurídicas, competencia de "La Comisión";
- IV.- "La Comisión" podrá solicitar conforme a la ley el auxilio de la fuerza pública para efectuar la visita de inspección, cuando alguna o algunas personas obstaculicen o se opongan a la práctica de la diligencia, independientemente de las sanciones a que haya lugar;
- V.- En toda visita de inspección se levantará acta, en la que se hará constar en forma circunstanciada los hechos u omisiones que se hubiesen presentado durante la diligencia;
- VI.- Al concluirse la inspección, se dará oportunidad al visitado para manifestar lo que a su derecho convenga, en relación con los hechos asentados en el acta. A continuación se procederá a firmar el acta por el visitado, por los testigos y por el personal autorizado, quien entregará copia del acta a los interesados. Si el visitado o los testigos, se negaren a firmar el acta, o se negaren a aceptar copia de la misma, dichas circunstancias se asentarán en ella, sin que esto afecte su validez y valor probatorio; una vez concluida la diligencia, el visitado tendrá un término de 15 días hábiles para que manifieste por escrito lo que a su derecho convenga respecto de dicha acta y ofrezca pruebas en relación con los hechos y omisiones que en la misma se asientan,
- VII.- En caso de que se requieran la adopción de medidas correctivas de urgente aplicación, "La Comisión" notificará al visitado mediante requerimiento debidamente fundado y motivado para que las realice, otorgando un término de 10 días hábiles para que manifieste lo que a su derecho convenga;
- VIII.- Se tendrán por consentidos los hechos y omisiones consignados en las actas de inspección, si transcurrido el plazo a que se refiere la fracción anterior, el visitado no presenta documentos o pruebas que desvirtúen los hechos u omisiones que se asientan en el acta de inspección;

- IX.- Una vez escuchado al visitado, recibidas y desahogadas las pruebas que ofreció, o en caso de que no haya hecho dentro del plazo mencionado uso del derecho que le conceden las fracciones VI y VII de este artículo, "La Comisión" dictará la resolución administrativa que corresponda, debidamente fundada y motivada, misma que se notificará al interesado, y
- X.- Las notificaciones para estos fines serán personales y cumplirán con lo que establece el presente "Reglamento".

ARTICULO 184.- En las actas se hará constar:

- I.- Nombre, denominación o razón social del visitado;
- II.- Hora, día, mes y año en que inicie y en que concluya la diligencia;
- III.- Calle, número, población o colonia, municipio o delegación, código postal y entidad federativa en que se encuentre ubicado el lugar en que se practique la visita; en caso de que el lugar no se pudiera precisar conforme a lo anterior, se deberá señalar en el acta la información que permita precisar la localización del lugar en el que se practique la visita;
- IV.- Número y fecha del oficio de comisión que la motivó;
- V.- Nombre, y en su caso, cargo de la persona con quien se entendió la diligencia;
- VI.- Nombre y domicilio de las personas que fungieron como testigos;
- VII.- Datos relativos a la actuación;
- VIII.- Declaración del visitado bajo protesta de decir verdad, si quisiera hacerla, y
- IX.- Nombre y firma de quienes intervinieron en la diligencia, incluyendo el de quien la llevó a cabo

Capítulo II

Infracciones y Sanciones Administrativas

ARTICULO 185.- Para la aplicación de las sanciones a que se refiere la "Ley", cuando no se hubiere levantado acta administrativa previa, "La Comisión" notificará al presunto infractor de los hechos motivo de la infracción, y le otorgará un plazo de quince días hábiles para que presente pruebas y manifieste por escrito lo que a su derecho convenga.

Transcurrido el término otorgado, "La Comisión" dictará la resolución que corresponda.

Las sanciones que se señalen en este capítulo se aplicarán sin perjuicio de la responsabilidad civil o penal que resulte, ni será obstáculo para que "La Comisión", cuando proceda, revoque la concesión, asignación o permiso.

ARTICULO 186.- Para el caso previsto en el último párrafo del artículo 120 de la "Ley", "La Comisión" llevará a cabo las siguientes acciones:

- I.- Levantará acta detallada de la diligencia, siguiendo para ello el procedimiento señalado en este "Reglamento", y
- II.- Procederá a la fijación de sellos en la maquinaria y equipo de perforación, para su no utilización, reteniéndolos en depósito o en custodia, hasta que cubran los daños y perjuicios ocasionados, fijados por autoridad competente.

ARTICULO 187.- Para los efectos del artículo 121 de la "Ley", se considera reincidente al infractor que una vez que haya sido sancionado por una falta específica, vuelva a incurrir en la misma, aun cuando sea en diferente monto o en otra localidad.

ARTICULO 188.- Por lo que se refiere al último párrafo del artículo 122 de la "Ley", "La Comisión" efectuará una visita de inspección en la que levantará el acta respectiva, indicando si la ocupación de vasos, cauces, zonas federales y demás bienes nacionales a cargo de "La Comisión" se ha hecho sin contar con el título respectivo conforme a la "Ley", asentando por parte del infractor lo que a su derecho convenga

Una vez levantada el acta, "La Comisión" notificará la resolución respectiva, y en su caso, procederá a remover o demoler las obras o infraestructuras respectivas con cargo al infractor, sin perjuicio de las sanciones que correspondan.

Los adeudos que resulten en los términos del párrafo anterior, tendrán el carácter de créditos fiscales para su cobro

ARTICULO 189.- Las multas administrativas que imponga "La Comisión", en los términos del Título Décimo de la "Ley", se deberán cubrir dentro de los quince días hábiles siguientes a su notificación.

Para la distribución de las multas administrativas efectivamente pagadas, destinadas legalmente a "La Comisión", y con las cuales se constituya el fondo de productividad para el otorgamiento de estímulos y recompensas a los servidores públicos de la misma, se estará a lo dispuesto en el artículo 14, fracción XIII, de este "Reglamento".

Capítulo III

Recurso de Revisión

ARTICULO 190.- La tramitación del recurso de revisión que establece el artículo 124 de la "Ley", se sujetará a las disposiciones de este "Reglamento" y, en lo no previsto, a las del Código Federal de Procedimientos Civiles.

Si se interpone recurso de revocación o de nulidad de notificaciones contra actos y resoluciones que emita "La Comisión" en materia fiscal, conforme a la presente "Ley", los mismos serán resueltos por ésta en los términos del Código Fiscal de la Federación.

ARTICULO 191.- El escrito en que se interponga el recurso, deberá contener

- I.- El nombre del recurrente y domicilio para oír y recibir notificaciones;
- II.- La mención del acto o resolución que se recurre y la autoridad que lo ejecute o que la emita;
- III.- La fecha en que se le haya notificado la resolución o haya tenido conocimiento del acto impugnado;
- IV.- Los agravios que le cause la resolución o acto impugnado;
- V.- El ofrecimiento de pruebas en el que apoye los términos de su escrito, y
- VI.- El nombre y domicilio de los terceros perjudicados, en su caso.

ARTICULO 192.- Al escrito de recurso, el recurrente deberá acompañar lo siguiente:

- I.- Los documentos que acrediten su personalidad y existencia legal, en su caso, del solicitante;
- II.- El documento en que conste la resolución impugnada;
- III.- Las pruebas documentales que obren en su poder, o en su caso el señalamiento del lugar en que se localicen cuando éste no pueda obtenerlas por sí mismo, por causas ajenas a su voluntad, y
- IV.- Las copias del escrito de recurso necesarias para correr traslado a las demás partes.

ARTICULO 193.- El recurso deberá ser interpuesto dentro de los quince días hábiles siguientes a la fecha de la notificación de la resolución impugnada, o de la fecha en que se tenga conocimiento del acto que le cause agravios.

El recurso podrá ser presentado directamente, por correo certificado o por mensajería, ante la autoridad que haya emitido el acto o resolución impugnadas, teniéndose como fecha de su presentación la que aparezca en el acuse de recibo respectivo o la del depósito en la oficina de correos o en mensajería.

ARTICULO 194.- Una vez que obre el escrito de recurso en "La Comisión", la misma analizará lo relativo a su procedencia, pudiendo determinar lo siguiente:

- I.- Se desechará de plano cuando el recurso se presente fuera del término señalado por la "Ley";
- II.- Se procederá de igual forma cuando el promovente no acredite su personalidad en términos de "Ley", o su interés jurídico o impugne una resolución emitida en un recurso de revisión; y
- III.- Se requerirá al promovente cuando no se cumpla con los requisitos señalados en las fracciones II y III, del artículo 191 de este "Reglamento", para que dentro de un término de tres días hábiles subsane tales omisiones, apercibiéndolo de que en caso de incumplimiento se tendrá por no interpuesto su recurso.

ARTICULO 195.- Reunidos los requisitos señalados para el escrito de recurso y de no existir alguna causal de improcedencia, se procederá a su admisión y se tendrá por abierto un término de treinta días naturales para desahogar las pruebas ofrecidas por las partes, así como los estudios, inspecciones y demás diligencias, inclusive pruebas, que considere necesarias la encargada de substanciar el recurso.

ARTICULO 196.- Serán admisibles todo tipo de pruebas reconocidas por la "Ley", con excepción de la confesional a cargo de las autoridades, siempre y cuando tengan relación inmediata con los hechos controvertidos, sujetándose su ofrecimiento, admisión, desahogo y valoración a las disposiciones que al respecto establece el Código Federal de Procedimientos Civiles.

Una vez concluido el desahogo de las pruebas ofrecidas y de las diligencias ordenadas, quien esté a cargo de la substanciación del recurso, procederá a elaborar el proyecto de resolución correspondiente dentro de los treinta días hábiles siguientes, observando lo dispuesto por el segundo párrafo del artículo 124 de la "Ley", debiendo remitirlo al servidor público competente, para su revisión y aprobación respectiva.

Aprobada la resolución, se notificará a las partes.

ARTICULO 197.- Las notificaciones que deban hacerse a los recurrentes y a los terceros perjudicados se practicarán en forma personal, en el domicilio que hubiesen señalado para tal efecto, conforme a las disposiciones establecidas en el Código Federal de Procedimientos Civiles, en su parte relativa.

TITULO DECIMOPRIMERO

CONCILIACION Y ARBITRAJE

Capítulo Unico

ARTICULO 198.- Para efectos de la conciliación conforme a la "Ley" y este "Reglamento" de los conflictos relacionados con el agua, "La Comisión" se sujetará al siguiente procedimiento:

- I.- La conciliación se iniciará a petición de parte interesada, presentando por duplicado la reclamación que se somete a conciliación y señalando nombre y domicilio de la parte a la que se le deberá correr traslado;
- II.- "La Comisión" señalará día, hora y lugar para la celebración de una audiencia de conciliación en la que se procurará avenir los intereses de las partes, la cual deberá tener lugar dentro de los quince días hábiles posteriores a la fecha de notificación de la reclamación respectiva;
- III.- "La Comisión" solicitará a las partes la información y documentación relacionada con los hechos, y las citará a la audiencia de conciliación, en el entendido de que si no comparecen, se hará un segundo citatorio y si tampoco lo hacen, se tendrá por concluido el procedimiento de conciliación, quedando a salvo los derechos de las partes;
- IV.- En caso de que el reclamante no comparezca a la audiencia de conciliación y no presente dentro de los siguientes quince días hábiles justificación fehaciente de su inasistencia, se tendrá por desistido de la reclamación y no podrá presentar otra ante "La Comisión" por los mismos hechos;
- V.- "La Comisión" expondrá a las partes un resumen de la reclamación y del informe presentado por ellas, señalando los elementos comunes y los puntos de controversia, y las exhortará para llegar a un arreglo, y sin prejuzgar sobre el conflicto planteado, les presentará una o varias opciones de solución;
- VI.- "La Comisión" podrá en todo momento requerir a las partes los elementos de convicción que estime necesarios para la conciliación, así como para el ejercicio de las atribuciones que a "La Comisión" le confiere la ley. Las partes podrán aportar las pruebas que estimen necesarias para acreditar los elementos de la reclamación y de los informes;
- VII.- "La Comisión" podrá suspender cuando lo estime pertinente o a instancia de ambas partes, la audiencia de conciliación hasta en dos ocasiones, casos en los cuales, el conciliador señalará día y hora para su reanudación, dentro de los quince días hábiles siguientes;

- VIII.- De toda audiencia se levantará el acta respectiva y los acuerdos de trámite que emita el conciliador no admitirán recurso alguno;
- IX.- Los convenios celebrados por las partes serán aprobados por "La Comisión" cuando no vayan en contra de la ley ni afecten a terceros; el acuerdo que los apruebe no admitirá recurso alguno;
- X.- En caso de no haber conciliación, "La Comisión" exhortará a las partes para que la designen como árbitro o designen a alguno de los árbitros que pueden actuar en su representación para solucionar el conflicto, cuyo listado la misma publicará, y
- XI.- En caso de no aceptarse el arbitraje, se dejarán a salvo los derechos de ambas partes.

ARTICULO 199.- "La Comisión" podrá actuar como árbitro cuando los interesados así la designen, mediante el escrito en el que conste su voluntad para someterse al procedimiento arbitral, sin necesidad de reclamación o procedimiento conciliatorio previos.

"La Comisión" ejercerá las funciones de arbitraje que la "Ley" señala, a través de los servidores públicos que la misma designe o habilite al efecto o con personas designadas para actuar como árbitros en su nombre y representación, cuyo listado se publicará por la misma en el Diario Oficial de la Federación.

En el caso de que se hubiere publicado el listado de árbitros que actuará en nombre de "La Comisión", las partes podrán designar a cualquiera de ellos.

Los honorarios de los árbitros serán con cargo a las partes.

ARTICULO 200.- La designación de árbitro se hará constar mediante acta que levantará al efecto "La Comisión", en la que se señalarán claramente los puntos esenciales de la controversia y si el arbitraje es en estricto derecho o en amigable composición.

En el arbitraje en amigable composición, se fijarán las cuestiones que deberán ser objeto del arbitraje y el árbitro propondrá a las partes las reglas para la sustanciación del juicio y tendrá libertad para resolver en conciencia y a buena fe guardada, sin sujeción a reglas legales, pero observando las formalidades esenciales del procedimiento. El árbitro tendrá la facultad de allegarse todos los elementos que juzgue necesarios para resolver las cuestiones que se le hayan planteado. No habrá términos ni incidentes.

En el juicio arbitral de estricto derecho, las partes formularán compromiso en el que fijarán el procedimiento que convencionalmente establezcan, aplicándose en lo conducente el Código de Comercio.

El laudo arbitral emitido por "La Comisión", directamente o a través del árbitro que actúe en su nombre o representación y que se haya designado por las partes, deberá cumplimentarse o, en su caso, iniciar su cumplimentación dentro de los quince días hábiles siguientes a la fecha de su notificación, salvo pacto en contrario.

ARTICULO 201.- El juicio arbitral de estricto derecho se apegará a lo siguiente:

- I.- Las notificaciones relativas al traslado de la demanda, a la citación a la junta de avenencia, de la demanda y del laudo, deberán hacerse personalmente o por correo certificado con acuse de recibo y surtirán efectos al día hábil siguiente de que sean hechas;
- II.- La demanda se presentará dentro de los diez días hábiles siguientes a partir de la celebración del compromiso, y la contestación se presentará dentro de igual término, contado a partir del día hábil siguiente del emplazamiento a juicio;
- III.- El árbitro dentro de los diez días hábiles siguientes al vencimiento del último plazo señalado en la fracción anterior, dictará acuerdo fijando el término que crea suficiente para el ofrecimiento, admisión, recepción y desahogo de las pruebas, no pudiendo exceder de treinta días hábiles, y
- IV.- Las partes tendrán diez días hábiles para formular alegatos.

Los términos serán improrrogables y las notificaciones que no sean personales se harán a las partes en la forma convenida en el pacto arbitral, y empezarán a surtir sus efectos al día hábil siguiente de que se realicen.

Una vez concluidos los términos fijados a las partes, sin necesidad de que se acuse rebeldía, seguirá el procedimiento su curso y se tendrá por perdido el derecho que, dentro de ellos, debió ejercitarse.

El árbitro tendrá la facultad de allegarse conforme a lo dispuesto en la ley, de todos los elementos de juicio que estime necesarios para resolver las cuestiones que se le hayan sometido a arbitraje. Para el ejercicio de esta facultad, podrá solicitar información documental sobre el caso concreto a "La Comisión".

ARTICULO 202.- Cuando se faltare al cumplimiento voluntario de lo convenido en la conciliación, o al laudo en la amigable composición o en el juicio arbitral de estricto derecho, la parte afectada podrá acudir a los juzgados competentes, para efectos de la ejecución de una u otra resolución.

El laudo arbitral sólo estará sujeto a aclaración, dentro de los cinco días hábiles siguientes a la fecha de su notificación.

TRANSITORIOS

(Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1º. de diciembre de 1992, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento el día 12 de enero de 1994.)

PRIMERO.- El presente "Reglamento" entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación

SEGUNDO.- Se abrogan:

- I.- El Reglamento de la Ley de Aguas de Propiedad Nacional, del 24 de marzo de 1936, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de Abril del mismo año;
- II.- El Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956, en materia de aguas del subsuelo, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de Febrero de 1958;
- III.- El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1973, y
- IV.- El Reglamento del Artículo 124 de la Ley Federal de Aguas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Diciembre de 1975.

Asimismo, se derogan las demás disposiciones que se opongán al presente "Reglamento".

TERCERO.- El otorgamiento de concesiones y asignaciones para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas superficiales en el territorio nacional, y de las aguas del subsuelo en las zonas de veda o reglamentadas por el Ejecutivo Federal, se sujetará a lo siguiente:

- I.- Los usuarios cuyos aprovechamientos tengan más de cinco años anteriores a la entrada en vigor de la "Ley" y que cuenten con permisos precarios, permisos o autorizaciones provisionales, permisos de perforación de pozos expedidos por autoridad competente, o con cualquier otro título legal distinto al de la concesión o asignación, que les autorice expresamente la explotación, uso o aprovechamiento de agua, se sujetarán a lo dispuesto en el transitorio cuarto;
- II.- Los usuarios cuyos aprovechamientos tengan menos de cinco años anteriores a la entrada en vigor de la "Ley", y que cuenten con alguno de los documentos oficiales a que se refiere la fracción anterior, o con boleta de inscripción en el inventario o registro que para fines estadísticos estaba previsto en el artículo 107 de la Ley Federal de Aguas, se sujetarán a lo dispuesto en el transitorio quinto, y

III.- Los usuarios que no cuenten con título de concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales y que no estén en los supuestos de las dos fracciones anteriores, se sujetarán a lo dispuesto en el transitorio sexto.

CUARTO.- Las personas que se encuentren en el supuesto previsto en el artículo séptimo transitorio de la "Ley" y aquellas a que se refiere la fracción I, del transitorio anterior, durante el año de 1994 deberán inscribirse en el "Registro", para efectos de lo dispuesto en dicho artículo .

"La Comisión" expedirá la concesión o asignación respectiva a los usuarios que se hubieren inscrito en el "Registro", en los términos del párrafo anterior, para lo cual, además de tomar en cuenta la disponibilidad de agua de la cuenca o del acuífero de que se trate, los derechos de terceros y las disposiciones contenidas en la veda o reglamentación correspondiente, se estará a lo dispuesto en el artículo 42 de la "Ley" y en el artículo 79 de este "Reglamento".

"La Comisión", mediante acuerdo de carácter general que publique en el Diario Oficial de la Federación, podrá establecer un plazo adicional al que se refiere el presente transitorio, para la inscripción en el "Registro", de los aprovechamientos destinados exclusivamente a usos domésticos, de abrevadero, uso agrícola o para uso público urbano para localidades de menos de 2 500 habitantes.

Durante 1994, en las visitas de inspección que efectúe "La Comisión" en los términos de ley, no procederá la aplicación del sello de suspensión o clausura por falta de concesión o asignación, en el caso de que las personas físicas o morales se hayan inscrito en el "Registro", conforme a lo dispuesto en el presente artículo.

Transcurrido el plazo para la inscripción en "El Registro", a que se refiere el presente transitorio, sólo se podrá explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales mediante concesión o asignación, de lo contrario se aplicarán las sanciones correspondientes, independientemente de la suspensión de los aprovechamientos o la clausura de los pozos respectivos, en los términos de ley

QUINTO.- Las personas a que se refiere la fracción II, del transitorio tercero de este "Reglamento", durante el año de 1994, deberán solicitar a "La Comisión" concesión o asignación, que se podrá otorgar de acuerdo a la disponibilidad de agua, los derechos de terceros y a las disposiciones que regulen las zonas de veda o reglamentadas en las que se ubiquen los aprovechamientos

Las personas a que se refiere el párrafo anterior, que presenten su solicitud de concesión o asignación durante 1994, no se les aplicarán sanciones por no contar con concesión o asignación.

Transcurrido el plazo para la solicitud de concesión o asignación a que se refiere el presente transitorio, los usuarios de los aprovechamientos que no cuenten con

concesión o asignación, se les aplicarán las sanciones que conforme a la "Ley" procedan, independientemente de la suspensión del aprovechamiento o la clausura de los pozos respectivos, en los términos de ley.

SEXTO.- Las personas a que se refiere la fracción III, del transitorio tercero de este "Reglamento", deberán solicitar concesión o asignación para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales y cubrir las sanciones que determine "La Comisión" por las infracciones que se hubieren cometido contra la "Ley".

"La Comisión" cuando, en el ejercicio de las facultades de fiscalización que tiene conforme a la "Ley", identifique la existencia de explotaciones, usos y aprovechamientos, cuyos usuarios no hayan solicitado la correspondiente concesión o asignación, procederá en los términos de ley a la suspensión del aprovechamiento o a la clausura del pozo correspondiente, independientemente de la aplicación de las sanciones respectivas.

SEPTIMO.- Los usuarios de cada distrito de riego, en un plazo que no exceda de seis meses contados a partir de la entrada en vigor del presente "Reglamento", deberán establecer el Comité Hidráulico a que se refiere el artículo 66 de la "Ley" y, con apoyo de "La Comisión", procederán de inmediato a elaborar el reglamento del distrito respectivo.

En tanto se transmite la administración a los usuarios de un distrito de riego en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", los comités hidráulicos se integrarán con el Ingeniero en Jefe del Distrito de Riego designado por "La Comisión", y un representante de cada una de las asociaciones u organizaciones de usuarios que existan en el distrito, o bien con un representante de los usuarios por cada una de las unidades que hayan sido establecidas para efectos de la operación del distrito y la distribución del agua.

OCTAVO.- El otorgamiento por parte de "La Comisión", de permisos de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores que sean bienes nacionales o cuya infiltración en terrenos pueda contaminar un acuífero, se sujetará a lo siguiente:

- I.- Las personas que sin contar con permiso de descarga de aguas residuales, hayan construido plantas de tratamiento de agua residual o las obras para el control de la calidad del agua, o tengan en proceso de realización el programa constructivo o la ejecución de las obras respectivas, en los términos del artículo 282-A de la Ley Federal de Derechos, para cumplir con la legislación y reglamentación vigente en la materia, así como con las normas para la descarga de aguas residuales y con las condiciones particulares de descarga, se sujetarán a lo dispuesto en el transitorio noveno, y

II.- Las personas que no tengan permiso de descarga de agua residual y que no se encuentren en los supuestos de la fracción anterior, se sujetarán a lo dispuesto en el transitorio décimo de este "Reglamento".

NOVENO.- Las personas a que se refiere la fracción I, del artículo anterior, durante 1994, deberán obtener de "La Comisión" el permiso de descarga de aguas residuales, el cual se entenderá otorgado sin mayor trámite ni sanción por la falta del permiso, con la simple presentación de un aviso a "La Comisión", dentro del cual se comuniquen el volumen y características de la descarga o descargas que efectúan, la descripción de los sistemas de tratamiento y de control de la calidad de las aguas residuales con que cuentan o que estén en proceso de construcción, y la forma en que se está cumpliendo con la ley.

No obstante, "La Comisión", en los términos de los artículos 140 y 141 de este "Reglamento", podrá expedir el permiso de descarga cuando considere que debe fijar o modificar las condiciones particulares de descarga.

Las personas a que se refiere el presente transitorio, deberán ajustarse a las condiciones particulares de descarga publicadas conforme a lo dispuesto en el artículo 142 de este "Reglamento".

Transcurrido el plazo para la presentación del aviso a que se refiere el presente transitorio, se deberá tramitar, conforme a lo dispuesto en el artículo 88 de la "Ley" y en este "Reglamento", el permiso de descarga de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la misma, independientemente de la aplicación de las sanciones que procedan conforme a la "Ley" y del pago de los derechos correspondientes en los términos de la Ley Federal de Derechos

En caso de que durante 1994, "La Comisión" como consecuencia del ejercicio de las facultades de fiscalización que tiene conforme a la ley, identifique la existencia de descargas de aguas residuales sin que se haya efectuado el aviso a que se refiere este transitorio, procederá conforme a la ley a la aplicación de las sanciones respectivas y, en su caso, a la suspensión de las actividades que den origen a la descarga en caso de estar en los supuestos previstos para tal medida en la "Ley".

DECIMO.- Las personas a que se refiere la fracción II, del transitorio octavo de este "Reglamento", deberán solicitar el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de la "Ley" y este "Reglamento"

"La Comisión" en los permisos de descarga, podrá establecer los compromisos y los plazos que para su cumplimiento asumirán los responsables de las descargas de aguas residuales para ajustarse a las condiciones particulares de descarga que se desprendan de los permisos de descarga respectivos, los cuales no podrán exceder de dos años

DECIMOPRIMERO.- Las condiciones particulares de descarga, fijadas con anterioridad a la fecha de entrada en vigor del presente "Reglamento", se mantendrán vigentes en tanto no se modifiquen o sustituyan por "La Comisión" en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento".

En el caso de que las normas oficiales mexicanas, establezcan límites máximos permisibles para otros contaminantes no incluidos en las condiciones particulares de descarga, a que se refiere el párrafo anterior, los responsables de éstas dispondrán de un plazo de noventa días naturales, contados a partir de la fecha de entrada en vigor del presente "Reglamento", para presentar, por lo que se refiere a dichos contaminantes, la programación de acciones para ajustar la calidad de la descarga a lo dispuesto en las mismas acciones que no podrán exceder de dos años.

DECIMOSEGUNDO.- Las personas que se encuentren explotando, usando o aprovechando bienes a que se refiere el artículo 113 de la "Ley", cuentan con un plazo de seis meses para solicitar ante "La Comisión" la regularización de sus respectivos títulos.

DECIMOTERCERO.- Para efectos del artículo 37 de este "Reglamento", "La Comisión", dentro de los doce meses siguientes a la entrada en vigor de este "Reglamento", realizará los estudios para obtener los resultados conducentes a determinar los volúmenes medios anuales disponibles, de acuerdo a las normas oficiales mexicanas emitidas por "La Comisión". Dichos estudios se realizarán a nivel cuenca, región o estado.

Los resultados de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas nacionales, serán publicados por "La Comisión" en el Diario Oficial de la Federación.

DECIMOCUARTO.- Los recursos de revisión y oposición que se encuentren pendientes de resolución, al entrar en vigor el presente "Reglamento", se tramitarán y resolverán con apego a las disposiciones vigentes en la fecha en que se interpusieron y en lo que favorezca a los recurrentes, se aplicarán las de este "Reglamento".

TRANSITORIOS

(Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 10 de diciembre de 1997.)

PRIMERO.- El presente Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.- Para efectos del artículo 72 del Reglamento, "La Comisión" efectuará los estudios técnicos para determinar la factibilidad de las transmisiones de derechos en zonas de veda establecidas por los Decretos o Reglamentos existentes, en un plazo máximo de 180 días hábiles contados a partir de la entrada en vigor del presente Decreto, a fin de poder expedir los acuerdos respectivos.

La *Ley de Aguas Nacionales* se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 1º de diciembre de 1992 y su *Reglamento* el día 12 de enero de 1994. Esta reimpresión consta de 20,000 ejemplares y se imprimió en los talleres de Deimos, S.A. de C.V., en el mes de abril de 1999. México, D.F.