

L
2ej.



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU
USO INDUSTRIAL.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

Ana Aurora Aburto Guerra



México, D. F.

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU USO INDUSTRIAL

	PAG
INTRODUCCION	1
IMPORTANCIA Y USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA	4
CALIDAD DEL AGUA, PARA USO INDUSTRIAL	19
CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS TRATADAS	34
EL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA	54
CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFIA	63

INTRODUCCION.

El agua es un elemento necesario e imprescindible para el consumo humano, además de ser un factor de desarrollo económico, por lo que es importante lograr una distribución adecuada de este recurso con respecto a los asentamientos de la población y a la ubicación del sector industrial.

El desarrollo del sector industrial en México ha mantenido un ritmo anual de crecimiento continuo superior al 8%, con relación al valor de producción hasta 1979, con una fuerte concentración en las Ciudades de Guadalajara, Monterrey y México. Este crecimiento ha ocurrido relegando a segundo término las consideraciones sobre costos y dificultad de abastecimiento de agua en las distintas regiones del país y de las tecnologías más adecuadas para su utilización eficiente.

La industria, en particular, hace uso cada año de volúmenes importantes de agua, incrementando su demanda en forma constante, de ahí la importancia que debe darse al uso correcto y exhaustivo del agua, tomando en cuenta que después de usarla se dará origen a los llamados desechos industriales.

DESECHOS INDUSTRIALES

El término "desechos industriales" es sumamente amplio, pues incluye todos los desechos sólidos, líquidos y gaseosos que producen las industrias de transformación y otras.

Estos desechos varían tanto en cantidad como en composición dependiendo del tipo de industria y con los procesos empleados en la misma. En muchas poblaciones, la cantidad de desechos líquidos excede a la de aguas negras y el poder contaminante del desecho es con frecuencia mucho mayor que el de las aguas negras. El problema se presenta dondequiera, pero desechos líquidos que tengan las mismas características no son muy comunes.

Desde el punto de vista del industrial, los desechos que produce son de su responsabilidad y por ello deberá procurar disponer de ellos lo más rápidamente posible y al menor costo.

Para el público, los desechos industriales también constituyen un riesgo porque pueden ocasionar perjuicios a las alcantarillas e instalaciones de las plantas de tratamiento; aumentar el costo de tratamiento y disposición de los desechos y contribuir a la contaminación de las corrientes.

Estos desechos pueden ser descargados al sistema de alcantarillado, siempre que su volumen sea pequeño en comparación con el gasto normal de aguas negras, o cuando han sido sometidos a un pretratamiento conveniente.

Por lo general, las aguas industriales de desecho contienen materia mineral suspendida, coloidal y disuelta, así como sólidos orgánicos, además pueden ser excesivamente ácidas o alcalinas y tener baja o alta concentración de materias colorantes.

Algunas de las características generales del abastecimiento de agua en la industria son las siguientes:

1. Protección gubernamental que ha fomentado el crecimiento sostenido del sector industrial.
2. Mercado Nacional concentrado en tres regiones del país.
3. Importación tecnológica que solo tiende a explotar los recursos naturales.
4. Costo del agua muy bajo.

Debido a lo anterior se pueden observar los siguientes efectos:

1. La producción industrial ha sostenido una tasa anual promedio del 8%, en valor de producción en los últimos 15 años.
2. Aguda concentración de problemas en tres polos: Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara. En la Ciudad de México ya se explota agua en las cuencas vecinas y en Monterrey los problemas de abastecimiento obligan al racionamiento del recurso en ciertas épocas del año.
3. Encarecimiento de los servicios de abastecimiento de agua. Uso irracional y dispendio del agua.
4. Sobreexplotación de acuíferos y uso del agua como vehículo de desechos contaminantes. Poca importancia en su manejo y disposición.
5. Uso intensivo del agua de buena calidad (potable), haciendo competencia al sector urbano.

Es importante resaltar éstos dos últimos efectos (4 y 5), ya que éstos traen consigo efectos secundarios de suma importancia actual y futura como pueden ser escases de agua y una importante contaminación de los cuerpos receptores de agua.

El objetivo del presente trabajo es dar un panorama general en cuanto a la importancia que tiene el uso del agua en la industria, resaltando los beneficios que trae consigo el reuso de ésta, debido a los elevados volúmenes que se utilizan, así como a los variados usos que tiene dentro de las diferentes industrias.

Se elaboró una recopilación en cuanto a la calidad del agua para uso industrial, mencionando los requerimientos de calidad en los principales sectores industriales. También se plantean algunos puntos importantes para la correcta planeación de un sistema de reuso en la industria. Se describen algunos de los tratamientos más usados en la purificación de aguas residuales industriales, así como características y procedimientos de reuso en algunas industrias.

Se hace mención al grave problema que significa la contaminación de los cuerpos abastecedores y receptores de agua y algunas medidas políticas para la atenuación de ésta.

En las conclusiones se mencionan los problemas en la implantación de prácticas de reuso así como los beneficios que de establecerse estas prácticas se aportarían.

CAPITULO 1

IMPORTANCIA Y USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA

El agua adquiere un caracter sumamente importante dentro del desarrollo industrial debido a los variados usos que este vital liquido tiene dentro de la industria.

Investigaciones realizadas por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, (SARH), arrojan datos sobre los recursos hídricos del país, constituidos principalmente por ríos, lagos, lagunas, yacimientos subterráneos y lluvias, estos indican que la precipitación media anual es de 780 mm, lo cual indica que el volumen de agua recibido por este conducto es de 1.53 billones de m³. En los ríos el escurrimiento medio anual es de 410 000 millones de m³. Se ha estimado que existen 410 000 millones de m³ de agua en almacenamientos naturales, (lagos, lagunas, esteros), y se han construido presas cuyos vasos permiten almacenar 124 700 millones de m³.

El estudio del agua subterránea renovable dió como resultado un volumen total de 31 000 millones de m³ anuales. Con respecto al volumen no renovable el estudio abarca el 57% del área total del país; por lo tanto este volumen se calcula en 110 000 millones de m³. (Plan Nacional Hidráulico, 1981).

Las actividades más importantes en las que se utiliza el agua en el país, son la agricultura, la generación de la energía eléctrica, el abastecimiento de agua potable para consumo humano y para las industrias.

Se tienen problemas en la obtención del agua debido a la creciente demanda del vital liquido para usos prioritarios como son el urbano, la agricultura, etc., los cuales con el constante aumento de la población demandan mayores cantidades de este liquido; así como la problemática debido a que el proceso de industrialización se inició en zonas áridas y semiáridas de nuestro territorio donde los recursos hidráulicos están comprometidos para fines de riego y usos municipales y es en estas áreas que cubren el 85% del territorio nacional, donde se tiene apenas del 35 al 45% de la disponibilidad total del agua.

Para el estudio de los recursos hídricos del país la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, (SARH), dividió el Territorio Nacional en 13 regiones las cuales son:

- I Península de Baja California
- II Noroeste
- III Pacífico-Centro
- IV Región Balsas
- V Pacífico Sur-Itsmo
- VI Región Bravo
- VII Región Golfo
- VIII Región Papaloapan
- IX Cuenca Grijalva-Usumacinta
- X Península de Yucatán
- XI Cuenca Cerrada del Norte
- XII Centro-Lerma
- XIII Centro-Valle de México

USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA.

Los usos del agua en la industria varían dependiendo de la industria en cuestión pudiendo definirse como básicos los 3 siguientes:

- a) Transferencia de calor
- b) Generación de energía
- c) Aplicación a procesos

- a) Transferencia de calor

El agua es un material que cuenta con algunas propiedades termodinámicas muy importantes como son su capacidad calorífica tan grande que cuando un gramo de agua absorbe una caloría del sistema que debe enfriar, su temperatura aumenta 1 C; a su vez también puede transferir calor de un sistema a otro; otra propiedad relacionada con la transferencia del calor es su capacidad de fusión de aproximadamente 80 cal/gr.

La industria capitaliza esta gran capacidad calorífica del agua para aprovecharla en unidades de procesos económicos para calentamiento o enfriamiento.

Calentamiento.

El método más común para suministrar calor a las diversas áreas de un complejo industrial es la generación de vapor. El vapor se produce mediante un combustible en una estación generadora central y se distribuye a toda la planta a presión y velocidad relativamente altas. La temperatura se controla regulando el flujo o la presión.

Además de las calderas que generan vapor aprovechando el calor de combustión del carbón, el petróleo o el gas, existen las que producen vapor mediante la combustión de productos de desecho o recuperando el calor de algún proceso que se verifique a alta temperatura.

Tradicionalmente el vapor ha sido el principal medio de transmisión industrial de calor, sin embargo, en algunas plantas modernas se ha sustituido por el agua caliente, debido al menor costo de instalación de los sistemas de circulación del agua. Sin embargo existen muchos factores que deben tomarse en cuenta para elegir entre estos dos sistemas; uno de los principales es la posibilidad de que el vapor se utilice para la generación local de energía eléctrica y posteriormente, a una presión inferior, se emplee para calentamiento.

Enfriamiento.

Durante muchos años se ha utilizado la circulación del agua en equipos de enfriamiento. El proceso se limita a bombear agua fría de una corriente o lago cercano, hacia la planta, y descargar de alguna forma el agua caliente. El volumen del líquido que debe extraerse de una fuente de agua dulce para abastecer un sistema de enfriamiento puede reducirse considerablemente si se utiliza una torre o estanque de enfriamiento, esto es, al hacer pasar el agua a través de una torre y circularla al sistema se lograría una disminución en el consumo, esto es posible gracias al alto calor de vaporización del agua, que permite enfriar el agua recirculada mas o menos en 12.2 C por cada uno por ciento de agua evaporada.

Hay un método de enfriamiento que no se utiliza muy a menudo, pero que en ocasiones es práctico y que consiste en introducir hielo al sistema, reduciendo con rapidez el calor de ciertas reacciones químicas orgánicas.

b) Generación de energía.

La mayor parte del volumen total de agua extraído para generar energía se emplea en las plantas hidroeléctricas y se usa en menor escala para el enfriamiento de plantas termoeléctricas y para la explotación de petróleo, carbón y uranio. Actualmente se extraen cien mil millones de metros cúbicos de agua para producir alrededor de 20,000 Gwh/año. En los programas de la Comisión Federal de Electricidad se contempla que para el año 2,000 las hidroeléctricas cubran el 25% de la demanda nacional de energía eléctrica, meta que implica incrementar en más de cuatro veces la energía hidroeléctrica generada en 1979. Para ello, será necesario extraer 362,000 millones de metros cúbicos anuales, concentrados principalmente en las regiones Grijalva-Usumacinta, Pacífico Norte y Centro, Balsas y Pacífico Sur-Istmo.

Las plantas que generan energía mediante combustible fósil o nuclear requieren de agua, principalmente para sus sistemas de enfriamiento, siendo los más comunes los de tipo de torre húmeda mecánica, cuyos consumos promedio varían entre dos y cinco litros/kwh generado, dependiendo del proceso y del combustible que utilice la planta. Se estima que la extracción consumo de agua en las 160 plantas termoeléctricas que estarán operando para el año 2,000, será del orden de mil millones de metros cúbicos y de 700 millones de metros cúbicos anuales, respectivamente. Las nuevas plantas termoeléctricas se localizarán en las costas con excepción del norte del país debido a que ahí los yacimientos de carbón se encuentran distantes de las costas.

EXTRACCIÓN DE AGUA PARA PLANTAS HIDROELECTRICAS

REGION	MILLONES DE M3/AÑO		
	1980	1990	2000
BAJA CALIFORNIA	0	84	126
NOROESTE	8602	12778	21050
PACIFICO CENTRO	826	10135	20698
BALSAS	32420	42348	61643
PACIFICO SUR-ITSMO	198	198	46698
BRAVO	3128	5678	5678
GOLFO NORTE	2207	2360	9731
PAPALOAPAN	8830	11699	20557
GRIJALVA-USUMACINTA	35321	63840	164462
PENINSULA DE YUCATAN	0	0	0
CUENCAS CERRADAS	0	0	0
LERMA	5689	5879	6496
VALLE DE MEXICO	212	243	353
COSTA CENTRO	2442	4764	4764

c) Procesos industriales.

En los procesos industriales el agua realiza importantes funciones; se utiliza para transportar materiales, en diferentes procedimientos de lavado, como materia prima y en un sinnúmero de otras aplicaciones que pueden ser exclusivas de una sola industria e incluso de una sola planta.

TRANSPORTE.

Así como las corrientes de agua llevan materiales en suspensión, las corrientes que circulan dentro de tuberías o de canalones en una fábrica pueden transportar materiales de una zona a otra. La industria que más utiliza este procedimiento es en la de celulosa y papel, le siguen la minera, petrolera, alimenticia, etc.

Hasta cierto punto, casi todas las industrias utilizan el agua como medio de transporte y diluyente para desechos, en la misma forma en que se utiliza en la sociedad, en los sistemas de aguas residuales.

AGUA PARA LAVAR.

El agua es un medio adecuado y económico para el lavado general de equipos industriales. Aparte del punto de vista estético, lavar el equipo es importante por otras razones prácticas tales como la seguridad, (evitar que los trabajadores se lastimen si resbalan debido a desechos en el piso), la calidad, (la basura puede contaminar los productos), y la producción, (el polvo puede dañar el equipo).

El lavado de los materiales de producción puede hacerse de muy diversas maneras. Los métodos de lavado se clasifican de modo general en: Lavado por dilución, por desplazamiento o desalojamiento y por extracción.

AGUA, COMO MATERIA PRIMA.

El agua se utiliza como materia prima en muchas reacciones químicas. En la industria de las bebidas embotelladas el agua de alta calidad constituye la mayor parte del producto terminado.

El agua es igualmente importante como materia prima en la industria farmacéutica ya que forma parte de muchas fórmulas líquidas. El agua también es un vehículo adecuado para muchos compuestos químicos, por ejemplo el amoníaco para uso doméstico en una solución de gas de amoníaco y agua.

El Plan Nacional Hidráulico, (SARH), nos proporciona una clasificación de las demandas y consumos por sectores industriales y los usos de cada sector.

Cuadros 1, 2, y 3.

Se puede observar de estos que el sector industrial que mas agua demanda y consume es el del ramo de alimentos, y dentro de este, la actividad que mas agua emplea es la de los ingenios azucareros, le siguen en orden decreciente las industrias química, metálica, (especialmente siderúrgica), la celulosa y el papel, así como la industria del petróleo.

De la demanda total de agua en la industria mostrada en el cuadro 3, según los datos, se concluye que el 60% es empleada en enfriamiento, el 33% es empleada en procesos y el 7% restante en calderas u otros usos. Debe advertirse que las cifras anteriores no incluyen las demandas de agua para generación de electricidad en las plantas de la Comisión Federal de Electricidad.

Las seis regiones con mayor demanda de agua industrial en orden decreciente son las siguientes: (Tomado del cuadro 4).

- VIII Del Papaloapan
- XIII Valle de México
- VI Río Bravo
- IV Río Balsas
- VII Del Golfo
- II Del Noroeste

La demanda del agua para industrias específicas aparece bien definida en las principales zonas del país así se tiene que, en las regiones II, III, IV y IX la principal demanda de agua industrial es para la elaboración de alimentos y específicamente para la industria azucarera. En las regiones VI y XIII la demanda aparece más diversificada, siendo los principales consumidores de agua en estas dos regiones los sectores de la Industria Química, la Industria Metálica y las Fábricas de Celulosa y Papel. Cuadros 5, 6 y 7.

Especificando el uso que se le da al agua en algunas industrias, la industria galvanoplástica proporciona un buen ejemplo del uso del agua para lavado por dilución, ya que los objetos que se recubren se sumergen en muchos tanques de soluciones químicas y deben pasar por enjuagues intermedios para evitar que lleven líquidos de un tanque a otro.

La industria del papel ofrece otro ejemplo del lavado por desplazamiento o desalojamiento en la eliminación del licor residual en los lavados de pulpa cruda, éstos son filtros al vacío en los que un tambor de filtrado gira y está parcialmente sumergido en un tanque de pulpa, ésta forma una cubierta sobre el tambor conforme el tambor fluye por la malla que lo recubre recibiendo en un tubo interno. Al girarse el tambor, parte de la capa adherida queda expuesta y sobre ella actúan chorros de agua que lavan la pulpa y separan el licor restante que pasa por la malla del tambor, recibiendo en el tubo interior, para volverlo a utilizar.

El azúcar refinada se lava mediante la centrifugación. El agua de lavado elimina la capa de mieles de los cristales de azúcar, con objeto de eliminar el color del producto final y

lograr que fluya libremente.

Otro empleo importante de mencionar es el enfriamiento que puede ser enfriamiento de condensadores en plantas generadoras de energía, refinerías de petróleo, plantas químicas y destilerías, enfriamiento en máquinas de combustión interna y plantas de bombeo.

Otra rama importante es la referente a procesos en especial al de alimentos, ya que el agua requerida en la manufactura de estos debe ser en ocasiones de una pureza superior a la del agua potable, por ejemplo: preparación de ciertas medicinas y bebidas.

El agua también se utiliza para procesar fibras naturales y sintéticas, lavar y teñir telas, y en la fabricación de plásticos transparentes y papel blanco.

El agua es esencial para la mayoría de las industrias y cada vez se reconoce más el valor que tiene. Por lo cual toda industria debe adquirir conciencia de la necesidad de vigilar el uso del agua y de la calidad que se requiere en cada caso.

CUADRO 1
 DEMANDA Y CONSUMO DE AGUA POR LA INDUSTRIA
 EN LA REPUBLICA MEXICANA
 AÑOS 1970 Y 1980
 (MILLONES DE M3 POR AÑO)

SECTOR	DEMANDA		CONSUMO	
	1970	1980	1970	1980
INDUSTRIA				
ALIMENTOS (1)	941	3036	97	312
QUIMICA	209	905	16	81
METALICA	198	727	13	46
CELULOSA Y PAPEL	118	396	7.6	25
PETROLEO	35	107	4	12
TEXTILES	18	26	1.5	2.2

(1) Incluyendo la industria azucarera.

FUENTE: Uso del agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación. Plan Nacional Hidráulico. SARH. Febrero 1973.

CUADRO 2

DEMANDA RELATIVA DE AGUA EN LA INDUSTRIA
EN LA REPUBLICA MEXICANA

(% del total nacional de la industria)

SECTOR INDUSTRIAL	AÑO 1965	AÑO 1980
ALIMENTICIA (1)	51	55
QUIMICA	11	16
METALICA	10	13
CELULOSA Y PEPEL	6	7
PETROLEO	3	2
ELECTRICIDAD	3	2
OTRAS INDUSTRIAS	16	5
T O T A L	100	100

(1) Incluyendo la industria azucarera.

FUENTE: Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación. Plan Nacional Hidráulico, SARH, Febrero 1973.

CUADRO 3

CLASIFICACION FUNCIONAL DE USOS DEL AGUA
EN LOS PRINCIPALES SECTORES INDUSTRIALES
EN LA REPUBLICA MEXICANA

(% respecto al total)

SECTOR INDUSTRIAL	ENFRIAMIENTO	PROCESOS	CALDERAS	OTRAS
ALIMENTICIA (1)	51.10	40.40	4.0	4.5
QUIMICA	76.50	17.50	2.3	3.7
HIERRO Y ACERO	(73.90) 85.20	(24.20) 7.10	(1.0) 1.0	(0.9) 6.7
CELULOSA Y PAPEL	(8.6) 34.30	(78.0) 62.90	(11.20) 1.80	(7.2) 1.0
PETROLEO	90.20	3.70	4.80	1.3

(1) Incluyendo la industria azucarera.

(2) Todas las cifras corresponden al Plan Nacional Hidráulico, excepto las que están entre paréntesis que son de la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación.

FUENTE: Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación.
Plan Nacional Hidráulico, SARH, Febrero 1973.

Estudio sobre los Sectores Industriales del Hierro y Acero y Celulosa y Papel, elaborado por la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SARH, Enero 1975.

CUADRO 4
DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA DEMANDA Y
CONSUMO DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL
EN LA REPUBLICA MEXICANA

Año 1970

(Millones de m³/año)

	REGION GEOGRAFICA (Ver plano adjunto)	DEMANDA	CONSUMO
I	PENINSULA DE BAJA CALIF.	1.5	0.1
II	NOROESTE	120.8	12.3
III	PACIFICO-CENTRO	11.7	11.6
IV	REGION BALSAS	149.9	15.3
V	PACIFICO SUR-ITSMO	28.1	2.7
VI	REGION BRAVO	183.1	12.8
VII	REGION GOLFO	128.8	13.1
VIII	REGION PAPALOAPAN	409.8	41.3
IX	CUENCA GRIJALVA-USUM.	14.2	1.5
X	PENINSULA DE YUCATAN	12.5	1.3
XI	CUENCAS CERRADAS DEL NTE.	19.4	1.9
XII	CENTRO-LERMA	61.7	5.5
XIII	CENTRO-VALLE DE MEXICO	272.8	21.6
T O T A L		1 514.4	141.0

FUENTE: Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación. Plan Nacional Hidráulico, SARH. Febrero 1973.

CUADRO 6

COMPOSICION DE LA DEMANDA ACTUAL DE AGUA POR
SECTOR INDUSTRIAL Y REGIONAL EN PORCIENTOS
EN LA REPUBLICA MEXICANA

REGION	ALIMEN- TICIA	METALICA BASICA	QUI- MICA	PAPEL	MINERAL NO METAL	TEXTIL	OTROS
I	-	-	-	-	-	-	-
II	90	-	4	-	-	-	6
III	92	-	-	4	-	-	4
IV	91	-	-	-	-	2	7
V	-	-	-	-	-	-	-
VI	-	55	15	10	5	-	15
VII	-	-	-	-	-	-	-
VIII	-	4	-	-	-	-	5
IX	91	-	-	-	-	-	-
X	-	-	-	-	-	-	-
XI	-	-	-	-	-	-	-
XII	-	-	-	-	-	-	-
XIII	6	15	28	23	9	-	-

FUENTE: Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación. Plan Nacional Hidráulico, SARH. Febrero 1973.

CUADRO 5
DEMANDAS CLASIFICADAS DE AGUA
PARA LA INDUSTRIA
EN LA REPUBLICA MEXICANA

Año 1980

(Millones de m³/año)

SECTOR INDUSTRIAL	ENFRIAMIENTO	PROCESOS	CALDERAS	OTROS	TOTAL
ALIMENTICIA	1 551	1 227	121	137	3 036
QUIMICA	692	158	21	33	905
METALICA	619	52	7	49	727
CELULOSA Y PAPEL	136	249	7	4	396
PETROLEO	97	4	5	1	107
T O T A L	3 095	1 690	161	224	5 171
(en m ³ /seg)	98.1	53.6	5.1	7.1	164.0

FUENTE: Uso del Agua en la Industria, Evaluación de la Situación Regional Actual y Estimación de la Demanda en 1980 para la Industria de la Transformación. Plan Nacional Hidráulico, SARH. Febrero 1973.

CUADRO 7

CAUDALES REQUERIDOS POR LA INDUSTRIA Y VOLUMENES DE AGUA RESIDUALES MUNICIPALES GENERADOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

ARO	DEMANDA DE AGUA DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACION (M3/seg)	DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (M3/seg)
1970	82	45.1
1980	169	84.4
1990	348	157.8
2000	718	295.1

FUENTE: Saavedra, J.C., Uso del Agua en la Industria. Publicación Interna, Plan Nacional Hidráulico, SARH. 1973.

Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Sistemas Económicos de Tratamiento, Dirección General de Usos de Agua y Prevención de la Contaminación, SARH. 1975.

CAPITULO 2.

CALIDAD DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL.

Entre los factores adversos del desarrollo y el crecimiento de la población, encontramos los relativos a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, así como la generación de conflictos en el abastecimiento de agua a los diferentes usuarios.

La contaminación del agua superficial y subterránea con descargas domésticas, industriales y agrícolas, limita las posibilidades de utilización de los recursos hidráulicos y hace necesario efectuar medidas de control, que resultan cada vez más costosas. Los contaminantes generados por las diferentes actividades humanas ejercen daños que repercuten sobre las condiciones naturales de los recursos hidráulicos y convierten el líquido en perjudicial para los usos domésticos, industrial, agrícola y recreativo, ocasionando riesgos potenciales para la salud pública, así como para el desarrollo económico.

La escasez de agua ha motivado el aprovechamiento de aguas residuales para riego agrícola, beneficiando regiones que con anterioridad eran infértiles. Pero deterioran la calidad bacteriológica y toxicológica de los cultivos, que en ocasiones consume el ser humano directamente, sin control sanitario.

El agua en raras ocasiones, por lo expuesto anteriormente, se utiliza tal y como se extrae de una corriente, un lago o un pozo. Es por esto que deben tomarse las precauciones necesarias, ya que, debido a las impurezas que contiene, a causa de la contaminación natural o artificial, puede afectar gravemente, dependiendo de la industria, tanto a los equipos como a los productos.

Se ha mencionado que existe un cierto tipo de contaminación natural, que se debe a que el agua tal como se encuentra en la naturaleza siempre lleva en disolución sustancias extrañas. Las impurezas más comunes son gases disueltos, como dióxido de carbono y oxígeno, así como materia mineral soluble como iones metálicos de calcio, magnesio, hierro y sodio, manteniéndose en equilibrio químico con aniones de sulfato, carbonato, bicarbonato y otros, estas sustancias se van disolviendo en tanto el agua fluye sobre la tierra o se filtra a través de ella.

Además de los materiales disueltos, muchas aguas superficiales transportan sólidos que van desde arena pesada, (que

se asienta con rapidez), hasta partículas dispersas en forma coloidal, (estables en suspensión).

Dependiendo de su origen, el agua cruda también contiene cantidades variables de materia orgánica disuelta o dispersa. En las corrientes la mayor parte de la materia orgánica desaparece a lo largo de una distancia relativamente corta, debido a la capacidad purificadora de los organismos de dicha corriente que la utilizan como alimento.

La acumulación natural de impurezas en el agua es el resultado de los procesos físicos y químicos que se llevan a cabo en forma espontánea y no se puede hacer mucho por evitarlo.

Un contaminante específico puede ser perjudicial en diversas operaciones industriales, dependiendo de la que se trate. Por ejemplo, los sedimentos producidos por la erosión generalmente deben eliminarse del agua que se utiliza en las operaciones de proceso, en los sistemas de enfriamiento de equipo y en calderas para generación de vapor.

Otros contaminantes pueden considerarse inofensivos, excepto en circunstancias especiales como por ejemplo el ion cloruro se elimina del agua que se utiliza en los reactores nucleares, ya que agrieta el acero inoxidable debido a la corrosión.

Encontramos que existen algunos factores generales a la calidad del agua para uso industrial, entre los más importantes podemos mencionar la concentración total de sólidos disueltos y la dureza.

La dureza generalmente se reporta en concentraciones de carbonato de calcio, (CaCO_3), cuando el agua contiene bajas concentraciones de este compuesto se denomina "agua blanda" y lo opuesto se denomina "agua dura", además puede dividirse en dos tipos, la de carbonatos, (contiene carbonatos y bicarbonatos), y la de no carbonatos.

La de carbonatos rara vez impide utilizar el agua para la industria ya que en caso de ser excesivos, se pueden reducir o eliminar de un modo sencillo y poco costoso. Por otro lado, la dureza de no carbonatos, (sobre todo cuando el ión predominante es el sulfato), puede dar como resultado la formación de escamas duras en las calderas y otras partes del equipo de intercambio de calor. Este tipo de dureza es más difícil y costoso de eliminar.

De acuerdo con algunos autores (Durfor y Becker, 1954), se han distinguido los siguientes rangos de dureza.

CONCENTRACION (mg/l de CaCO ₃)	DESCRIPCION
0 - 60	Agua blanda
61 - 120	Agua moderadamente dura
121 - 180	Agua dura
> 180	Agua muy dura

Existen también otros parámetros de calidad que influyen en la selección del agua para usos específicos; por ejemplo las concentraciones de sílice forman escamas duras en las calderas. En aguas superficiales que contienen hierro, manganeso y aluminio, estos elementos forman compuestos complejos con materia orgánica, produciéndose un aumento en las concentraciones totales, pero en el agua subterránea estos metales se encuentran en concentraciones más elevadas que en el agua superficial.

En muchos procesos industriales, el hierro y el manganeso son particularmente perjudiciales debido a que tienen en forma indeseable a los productos manufacturados.

La alcalinidad del agua puede ocasionar problemas en ciertos procesos industriales.

Las concentraciones de sulfato varían en las aguas naturales; cuando se combina con el calcio, origina grandes problemas en los intercambiadores industriales de calor.

Los gases disueltos, incluyendo el dióxido de carbono, el oxígeno, el ácido sulfhídrico o el amoníaco, a menudo tienen importancia dependiendo del uso final que se le da al agua.

El valor de pH (que es una medida de la actividad del ión de hidrógeno) se usa para indicar tanto la acidez como la alcalinidad del agua. En muchas aplicaciones industriales los valores de pH del agua determinan si ésta puede usarse o no. El pH de casi todas las aguas superficiales varía entre 6 y 8.

La turbidez es una característica de casi todas las aguas superficiales pues, debido a la erosión de la superficie terrestre, contienen partículas de materia en suspensión; también pueden encontrarse en el agua tratada, (cuando está indebidamente filtrada), y en aguas subterráneas, (cuando son químicamente inestables y pueden volverse turbias al entrar en contacto con la atmósfera).

Dependiendo del uso que se le da en la industria es la calidad del agua requerida.

Consultando las cifras que proporciona el Plan Nacional Hidráulico, (SARH), puede observarse que el sector industrial que más agua demanda y más agua consume es el del ramo de alimentos y dentro de éste, la actividad que más agua emplea es la de los ingenios azucareros, les siguen en orden decreciente las industrias química, metálica (especialmente la siderúrgica), la celulosa y el papel y la industria del petróleo.

Por lo tanto a continuación se mencionará la calidad de agua requerida principalmente en éste tipo de industrias.

La Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, (SARH), realizó una serie de estudios sobre la calidad y usos del agua en los siguientes principales sectores industriales del país:

- a).- Industria Alimenticia (cuadro 8)
- b).- Industria Química (cuadro 13)
- c).- Industria del Hierro y el Acero (cuadro 9)
- d).- Industria de la Celulosa y Papel (cuadros 8, 10 y 11)
- e).- Industria Petroquímica (cuadro 15)
- f).- Industria del Petróleo (cuadros 8 y 15)
- g).- Industria Textil (cuadros 8 y 12)
- h).- Industria de la Curtiduría (cuadro 14)

El esquema de trabajo adoptado en estos estudios realizados por la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, (SARH), ha sido basado en la toma de datos reales de empleo de agua en la industria mexicana.

a). Industria Alimenticia.

La industria alimenticia mexicana puede ser clasificada en tres categorías principalmente:

- 1.- Conservación y enlatado de frutas y verduras.
- 2.- Conservación y enlatado de pescados y mariscos.
- 3.- Refinado de azúcar y sus derivados.

Aún no se han elaborado normas específicas de calidad de agua para estos tres grupos de la industria alimenticia pero se puede afirmar que la calidad mínima requerida es similar a la del agua para abastecimiento doméstico.

Este tipo de industria se ubica en lugares donde el agua es muy abundante; el caso más claro es el de los ingenios azucareros que se localizan principalmente en las tierras bajas de las costas de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, en la Huasteca y en las tierras bajas del Golfo, sitios donde el agua es barata y abundante.

b y e). Industria Química y Petroquímica.

La industria química es la más diversificada en cuanto a procesos y productos y también una de las que requieren mayor calidad de agua no obstante las normas generales, no limitan las características de los caudales de insumo a las plantas de producción, pues la regla que impera en la gran mayoría de los casos establece que el agua sea acondicionada de una manera específica en función del proceso de que se trate.

c). Industria del Hierro y el Acero.

Estas industrias y sus productos derivados pueden clasificarse en tres categorías:

- 1.- Integradas.
- 2.- Semi-integradas.
- 3.- No integradas.

Esto se debe a la naturaleza de sus procesos, más en términos generales, el mayor uso del agua dentro del sector industrial corresponde al renglón de enfriamiento, por lo que la calidad de

agua requerida es independiente de la clasificación anterior.

El enfriamiento por contacto directo realizado en las plantas siderúrgicas en los trenes de laminación, únicamente incorpora al agua partículas sólidas de óxido de hierro, por lo cual el agua de primer uso no sufre degradaciones severas en su calidad, y la práctica común es recircular internamente grandes porcentajes después de un tratamiento simple de sedimentación primaria, para eliminar las partículas sólidas acarreadas.

Este tipo de prácticas son sumamente necesarias pues los suministros de caudales adecuados son críticos en las zonas semiáridas del norte del país, donde se localizan la mayoría de las plantas integradas.

Las normas de calidad de agua requerida sólo reglamentan de manera definida los parámetros de sólidos totales, pH y temperatura.

d). Industria de la Celulosa y Papel

Las plantas productoras de celulosa y papel pueden clasificarse en dos principales:

- 1.- Integradas, que producen tanto celulosa como papel en cualquiera de sus variedades.
- 2.- No integradas, que producen únicamente celulosa y papel.

La localización de la mayoría de estas plantas está en función de las fuentes de agua adecuada para su abastecimiento que es considerada como materia prima de vital importancia en las líneas de producción. Independientemente de la categoría de la industria, la calidad de agua requerida es característica de cada proceso específico y el criterio generalmente aplicado al respecto es el que proporciona las normas de la TAPPI (Técnical Association of The Pulp and Paper Industry).

Algunos de los parámetros que son objeto de un mayor control en el caudal de abastecimiento son los sólidos totales y el color.

f). Industria Petrolera.

Esta industria requiere grandes cantidades de agua principalmente destinada a enfriamiento sin contacto con el producto. Generalmente se prescribe para las aguas de enfriamiento que no sean capaces de originar incrustaciones o lodos en los equipos de procesos o auxiliares, sólidos totales, alcalinidad y sólidos en suspensión.

g). La Industria Textil.

En función de la materia prima que se emplee se pueden dividir en tres grupos:

- 1) Algodón
- 2) Lana
- 3) Fibras Sintéticas

Los procesos de fabricación son diferentes en cada caso, pues constan de diversas series de operaciones unitarias, pero no obstante, la calidad del agua requerida es prácticamente la misma.

h). Industria de la Curtiduría de Pieles.

Esta industria no requiere en términos generales, agua de excelente calidad, excepto en los procesos de cloración.

CUADRO 8
CALIDAD DE AGUA PARA ALGUNAS INDUSTRIAS
(en mg/l)

CONSTITUYENTE	IND. TEXTIL	IND. PAPELERA	DERIV. DEL PETROLEO	EMBOTELLADORAS
SiO ₂	-	50	-	-
Fe	0.1	1.0	1.0	0.3
Mn	0.1	0.5	-	0.5
Ca	-	20	75	-
Mg	-	12	30	-
Cu	0.01	-	-	-
NH ₄	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-
HCO ₃	-	-	-	-
SO ₄	-	-	-	500
Cl	-	200	300	500
F	-	-	-	-
NO ₃	-	-	-	-
Dureza	25	100	350	-
pH	2.5-10.5	6-10	6-9	-
S.T.D.	100	-	100	-

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981.

CUADRO 9

CALIDAD DE AGUA REQUERIDA POR LA INDUSTRIA DEL
HIERRO Y EL ACERO

PARAMETRO	TEMPLADO LAMINA- CION EN CALIENTE, DEPURADO DE GASES		LAMINADO EN FRIO	AGUAS DE LAVADO SELECCIO- NADAS (a) (b)	
	SOLIDOS SEDIMENTA- BLES	100		(1)	(3)
SOLIDOS SUSPENDIDOS	(2)		10(1)	(3)	(3)
SOLIDOS DISUELTOS	(2)		(2)	(2)	(3)
ALCALINIDAD (CaCO ₃)	(4)		(4)	(4)	(3)
DUREZA (como CaCO ₃)	(4)		(4)	100(1)	(3)
pH (unidades)	5.0-9.0		5.0-9.0	6.0-9.0	-
CLORURO (Cl)	(2)		(2)	(2)	(3)
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	(4)		(4)	(4)	(4)
TEMPERATURA ("F)	100 (1)		100 (1)	100 (1)	100 (1)
ACEITE MATERIAL FLOTANTE	(2)		(3)	(3)	(3)

- NOTAS: (1) Concentraciones en mg/l, excepto las indicadas en otra unidad.
 (2) Aceptada tal como se recibe si satisface las otras limitaciones.
 (3) Cero o no descubierta mediante la prueba correspondiente.
 (4) Controlada mediante tratamiento para otros componentes.
 (a) Ablandadas.
 (b) Desmineralizadas.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado. SARH. Octubre 1970.

CUADRO 10
NORMAS DE CALIDAD TAPPI*

REFERENCIA	TAPPI E600s-48	TAPPI E601s-53		TAPPI E602s-48	TAPPI E603s-49
COMPOSICION (mg/l)	PAPELES FINOS	PAPEL BLAN- QUEADO	KRAFT SIN BLAN- QUEAR	PAPEL PASTA MADE- RA	CELULOSA KRAFT
TURBIDEZ (SiO ₂)	10	40	100	50	25
COLOR (unidades)	5	25	100	30	5
H TOTAL (CaCO ₃)	100	100	200	200	100
H Ca (CaCO ₃)	50	-	-	-	50
ALCALINIDAD (CaCO ₃)	75	75	150	150	75
Fe	0.1	0.2	1.0	0.3	0.1
Mn	0.05	0.1	0.5	0.1	0.05
Cl Residual	2	-	-	-	-
SiO ₂	20	50	100	50	20
SOLIDOS DISUELTOS	200	300	500	500	250
CO ₂	10	10	10	10	10
CLORUROS	-	200	200	75	75

DBO

Lo menor posible

* Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria
de las aguas residuales del emisor poniente en la
zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua
Potable y Alcantarillado. SARH, Octubre 1970.

CUADRO 11
NORMAS DE CALIDAD PARA DIFERENTES TIPOS
DE PAPEL Y CELULOSA

CARACTERISTICAS	PULPA MECANICA	PULPA QUIMICA Y PAPEL SIN BLANQUEAR	PAPEL BLANQUEADO
SILICE (SiO ₂)	(1)	50	50
ALUMINIO (Al)	(1)	(1)	(1)
FIERRO (Fe)	0.3	1.0	0.1
ZINC (Zn)	(1)	(1)	(1)
CALCIO (Ca)	(1)	20	20
MAGNESIO (Mg)	(1)	12	12
SULFATO (SO ₄)	(1)	(1)	(1)
CLORURO (Cl)	1 000	200	200
SOLIDOS DISUELTOS	(1)	(1)	(1)
SOLIDOS SUSPENDIDOS	(1)	10(2)	10(2)
DUREZA (como CaCO ₃)	(1)	100	100
PH (unidades)	6.0-10.0	6.0-10.0	6.0-10.0
COLOR (unidades)	30	30	10
TEMPERATURA ("F)	(1)	(1)	(1)

NOTAS: Los valores indicados son máximos y están en mg/l excepto en donde se indique otra unidad y deberán considerarse antes de la edición de sustancias usadas para el acondicionamiento interno.

(1) Aceptadas tal como se reciba si satisface las otras limitaciones.

(2) Sin arenas o sólidos que produzcan coloraciones.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado. SARH. Octubre 1970.

CUADRO 12
 CALIDAD DE AGUA REQUERIDA POR LA
 INDUSTRIA TEXTIL.

PARAMETROS	CONCENTRACIONES POR PROCESO (mg/l)			
	SUSPENSION PARA EL ENCOLADO	LAVADO	BLANQUEADO	TENIDO
FIERRO	0.3	0.1	0.1	0.1
MANGANESO	0.05	0.01	0.01	0.01
COBRE	0.05	0.01	0.01	0.01
SOLIDOS DISUELTOS	100	100	100	100
SOLIDOS SUSPENDIDOS	5	5	5	5
DUREZA COMO CaCO ₃	25	25	25	25
pH (unidades)	-	-	-	-
ALGODON	6.5-10.0	9.0-10.5	2.5-10.5	7.5-10.0
FIBRAS SINTETICAS	6.5-10.0	3.0-10.5	1	6.5-7.5
LANA	6.5-10.0	3.0-5.0	2.5-5.0	3.5-6.0
COLOR	5	5	5	5

(1) No aplicable.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado. SARH. Octubre 1970.

CUADRO 13
CALIDAD DE AGUA REQUERIDA POR LA INDUSTRIA
DE PRODUCTOS QUIMICOS

CARACTERISTICAS	QUIMICOS ORGANICOS	HULE SINTETICO	GOMAS Y PRODUCTOS QUIMICOS DE MADERA
SILICE (SiO ₂)	(2)	(2)	50
FIERRO (Fe)	0.1	0.1	0.3
MANGANESO (Mn)	- 0.1	0.1	0.2
CALCIO (Ca)	68	80	100
MAGNESIO (Mg)	19	36	50
BICARBONATO (HCO ₃)	128	-	250
SULFATO (SO ₄)	(2)	(2)	100
CLORURO (Cl)	(2)	(2)	500
NITRATO (NO ₃)	(2)	(2)	5
SOLIDOS TOTALES	-	-	1000
DUREZA (como CaCO ₃)	250	350	900
PH (UNIDADES)	6.5-8.7	6.2-8.3	6.5-8.0
COLOR (UNIDADES)	(2)	20	20
SOLIDOS SUSPENDIDOS	(2)	5	30
OLOR	(2)	(2)	(3)
DBO A 5 DIAS Y 20C.	(2)	(2)	(4)
DQO (O ₂)	(2)	(2)	(4)
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	(2)	(2)	(1)
ALCANIDAD (CaCO ₃)	125	150	200

NOTAS: (1) Agua Potable.
 (2) Aceptada tal como se reciba si satisface los sólidos totales o el resto.
 (3) No hay límite práctico pues puede manejarse cualquier concentración.
 (4) Controlada mediante el tratamiento para otros componentes.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la jefatura de Agua Potable y Alcantarillado. SARH. Octubre 1970.

CUADRO 15
CALIDAD DE AGUA REQUERIDA POR LA INDUSTRIA
DEL PETROLEO Y CARBON MINERAL

PARAMETRO	CONCENTRACIONES
SILICE (SiO ₂)	(2)
FIERRO (Fe)	1
CALCIO (Ca)	75
MAGNESIO (Mg)	30
SODIO Y POTASIO TOTALES (NA + K)	(2)
BICARBONATO (HCO ₃)	(2)
SULFATO (SO ₄)	(2)
CLORURO (Cl)	300
FLUORURO (F)	(2)
NITRATO (NO ₃)	(2)
SOLIDOS DISUELTOS	1 000
SOLIDOS SUSPENDIDOS	10
DUREZA (como CaCO ₃)	350
DUREZA DE NO CARBONATOS (como CaCO ₃)	70
COLOR (unidades)	(2)
PH (unidades)	6.0 - 9.0

NOTAS: (1) Concentraciones en mg/l, excepto las indicadas con otra unidad.

(2) Aceptada tal como se reciba si satisface las otras limitaciones.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado, SARH, Octubre 1970.

CUADRO 14
CALIDAD DE AGUA REFERIDA POR LA INDUSTRIA
DEL CURTIDO Y ACABADO DE PIELS

PARAMETRO	PROCESOS DE CURTIDO	PROCESOS DE ACABADO EN GENERAL	PROCESOS DE CLORACION
ALCALINIDAD (CaCO ₃)	(2)	(2)	(2)
pH (unidades)	6.0-8.0	6.0-8.0	6.0-8.0
DUREZA (CaCO ₃)	150	(3)	(4) (5)
CALCIO (Ca)	60	(3)	(4) (5)
CLORURO (Cl)	250	250	(6)
SULFATO (SO ₄)	250	250	(6)
FIERRO (Fe)	50	0.3	0.1
MAGNESIO (Mn)	6	0.2	0.01
SUSTANCIAS ORGANICAS	-	-	-
EXTRACTO DE CARBON CLOROFORMO	(6)	0.2	(4)
COLOR (unidades)	5	5	5
BACTERIAS COLIFORMES	(7)	(7)	(6)
TURBIEDAD	(4)	(4)	(4)

NOTAS: (1) Concentraciones en mg/l, excepto las indicadas en otra unidad.
 (2) Aceptada tal como se recibe si satisface las otras limitaciones.
 (3) Ablandada con cal.
 (4) Cero o no descubierta mediante la prueba correspondiente.
 (5) Agua destilada o desmineralizada.
 (6) Concentración desconocida
 (7) De acuerdo con las normas de calidad para agua potable del U.S. Public Health Service (Secretaría de Salubridad de los Estados Unidos) de 1962.

FUENTE: Estudio para el aprovechamiento en la industria de las aguas residuales del emisor poniente en la zona N-Z-T, elaborado por la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado. SARH. Octubre 1970.

CAPITULO 3

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS TRATADAS.

Cuando la calidad del agua no es satisfactoria se introducen obras para purificación que la adecuan para los fines requeridos, esto es, que el agua contaminada se desinfecta, a la desagradable se le hace atractiva y de buen sabor, a la que tiene hierro y manganeso se le suprimen estos elementos, a la corrosiva se le desactiva, a la dura se le suaviza, etc.; a este tipo de agua se le llama "agua tratada".

Según sea el uso y el tipo de contaminación que tenga el agua deberá ser el tratamiento al que tendrá que someterse. Existen varios tipos de exámenes de laboratorio, que pueden ayudar a dar una opinión acerca del estado en que esta se encuentra.

Los exámenes de laboratorio pueden clasificarse en: exámenes físicos, químicos, bacteriológicos y microscópicos.

Los exámenes físicos miden y registran aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos; los químicos determinan las cantidades de materia mineral y orgánica que hay en el agua y que afecte su calidad, proporcionando datos sobre contaminaciones o mostrando las variaciones ocasionadas por el tratamiento, lo cual es indispensable para controlar un proceso de tratamiento de agua; los bacteriológicos indican la presencia de bacterias características de la contaminación y por consiguiente la calidad del agua para su consumo; y finalmente los microscópicos que proporcionan la información relativa a las proliferaciones en el agua que frecuentemente son las que causan sabores y olores desagradables u obstrucción de los filtros.

Dentro de las pruebas que comunmente se practican para determinar la calidad del agua encontramos:

Pruebas físicas.

- turbiedad
- color
- olor
- sabor

Pruebas químicas.

- dureza
- alcalinidad
- concentración de los iones Hidrógeno (pH)
- prueba de estabilidad del mármol o la cal
- pruebas de coagulación
- cloro residual
- prueba de ortotolidina-arsenito
- demanda de cloro

Determinación de bacterias del grupo coliforme

- examen microscópico del agua
- clasificación de los microorganismos

1. Algas

Diatomeas. Plantas unicelulares con cubiertas celulares silícicas.

Cianofíceas. Plantas verdaderas que contienen clorofila y por lo general un pigmento. Se conocen como algas verdeazules. Son las responsables de la "florescencia acuática" en el agua.

Clorofíceas. Plantas clorofílicas con pigmento verde.

2. Hongos.

No contienen clorofila y, por lo tanto, no requieren de luz solar para su desarrollo.

3. Protozoarios. Animales unicelulares que requieren de oxígeno y de alimento orgánico; algunos de ellos son intermedios entre los reinos vegetal y el animal.

4. Rotíferas. Pequeños organismos animales.

Para darle uso al agua en la industria es necesario que ésta cumpla con ciertos parámetros de calidad como se mencionó en el capítulo anterior.

Existen muchos métodos y combinaciones de éstos que se utilizan en la purificación del agua aunque todos abarcan 4 procesos básicos.

- 1) Tratamiento físico
- 2) Tratamiento químico
- 3) Tratamiento físico-químico
- 4) Tratamiento biológico

1) Tratamiento físico

El tratamiento físico abarca los procesos mediante los cuales las impurezas se separan del agua sin producirse cambios en la composición de las sustancias.

Los métodos más comunes utilizados como tratamientos físicos son:

- a) Sedimentación
- b) Filtrado
- c) Separación de fases líquidas múltiples
- d) Desgasificación
- e) Dilución
- f) Eliminación del arrastre de líquidos y sólidos
- g) Destilación y extracción
- h) Descarga subterránea
- i) Descarga a los océanos
- j) Desalinización

a) Sedimentación

En la sedimentación se aprovecha la acción que ejerce la fuerza de gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, que descienden depositándose sobre el fondo. La eliminación que se logra es sólo parcial, dependiendo de la materia de que se trate, temperatura del agua y la amplitud de los tiempos de retención. Las aguas superficiales contienen diferentes cantidades de materia en suspensión, el tamaño de cuyas partículas puede variar en un amplio margen, desde el material relativamente grueso hasta el material coloidal y este método se utiliza para clarificar el agua cruda, ya sea por sedimentación simple o mediante la adición de

coagulantes químicos.

Los recipientes en donde se lleva a cabo este proceso se denominan tanques de sedimentación, cuyo diseño se lleva a cabo dependiendo del tamaño, peso y forma de las partículas, además de su resistencia a la fricción y viscosidad, entre otros.

Estos tanques pueden construirse de tierra, madera, concreto o acero; su forma puede ser rectangular o circular y el período de retención varía generalmente entre 4 y 12 horas. Cuando el agua contiene grandes cantidades de sólidos, los tanques cuentan casi siempre con rastras mecánicas que mueve los sólidos sedimentados hacia un foso colector, del cual los hace salir la carga hidráulica del tanque. En otros casos se cuenta con válvulas manuales para la descarga de lodos que permiten eliminar parte del material sedimentado, siendo necesario desmontarlas periódicamente para efectuar una limpieza minuciosa, dependiendo de la naturaleza de los sedimentos y de la materia suspendida, de esta forma, la sedimentación simple puede eliminar hasta el 70% del material, cuando se utilizan coagulantes se puede eliminar hasta el 95%.

Algunas aguas industriales de desecho contienen sólidos sedimentables de tipo orgánico e inorgánico, que deben separarse antes de la descarga final. Estos sólidos se eliminan siguiendo el mismo procedimiento y se emplean tanques de sedimentación similares. Generalmente los períodos de retención son mucho más breves que para aguas crudas, excediendo rara vez de 2 a 3 horas. Cuando los sólidos son de tipo orgánico, los períodos de retención prolongados pueden ser perjudiciales ya que se propicia la acción bacteriana, y esto puede dar como resultado la generación de condiciones anaeróbicas y de malos olores.

Si se desprende una cantidad considerable de gas, el lodo sedimentado tenderá a flotar, nulificando la operación.

La flotación por medio de aire es muy eficaz para separar sólidos floculentos que sedimenten con mucha lentitud o tengan tendencias a flotar. El aire se dispersa a presión dentro del líquido que se encuentra en un recipiente cerrado e inmediatamente antes de descargar la mezcla al depósito receptor se alivia la presión. Al subir el aire finamente disperso hace flotar los sólidos hasta la superficie, donde forman una espuma que puede separarse, este método permite una eliminación efectiva a costo mínimo.

b) Filtrado

Los filtros se utilizan cuando es necesario eliminar sólidos suspendidos o flotantes en el agua, ya sea como paso adicional, después de la sedimentación, o cuando el espacio disponible nos permite la instalación de tanques de sedimentación.

En la filtración de agua los filtros usados son casi todos del tipo que emplea material granular como medio filtrante, a través de los cuales el agua se filtra en flujo descendente.

Recientemente se ha empezado a utilizar el filtro rápido o americano que usa coagulantes y que en 2 ó 3 minutos hace que el efluente esté completamente claro. La velocidad de filtración por este tipo de filtros es de 120 l/min/m². Para uso municipal se diseñan con 80 l/min/m².

Los filtros rápidos se pueden dividir en dos clases:

- 1) Filtros de presión
- 2) Filtros de gravedad

En las instalaciones industriales se usa casi siempre el primer tipo, pero cuando se manejan grandes volúmenes de agua se usa el tipo de gravedad, principalmente en el proceso de ablandamiento de cal.

1) Filtros de presión.

Se fabrican de tipo vertical y horizontal; están formados por una coraza metálica cilíndrica con tapas abombadas que contienen una capa de arena o antrafilt[®] (carbón mineral) que sirven como medio filtrante soportados por capas de grava o del mismo antrafilt, equipados con los accesorios necesarios para llevar a efecto las operaciones de:

- a) filtración
- b) retrolavado
- c) enjuague

2) Filtros de gravedad

Los filtros de gravedad no se emplean en la industria tan extensamente como los filtros de presión. Cuando se usan en aplicaciones industriales generalmente se operan a 120 l/min/m², mientras que en la práctica municipal se emplean velocidades de filtración de 80 l/min/m².

Los filtros de gravedad pueden construirse de concreto, acero o madera, siendo el más usado el de concreto.

c) Separación de fases líquidas múltiples.

A menudo, por medios físicos pueden separarse del agua uno o más líquidos que, como resultado en sus diferencias de densidad no son miscibles con ella.

En el laboratorio se efectúan en pequeña escala separaciones por gravedad, utilizando los embudos de separación y a escala comercial se utiliza equipo diseñado específicamente para ello.

Con frecuencia la diferencia entre las densidades de los líquidos no es grande y uno de ellos puede dispersarse en un estado globular finamente dividido, en estas circunstancias, las corrientes de convección pueden llegar a ser tan fuertes que evitan el funcionamiento eficiente del equipo, por lo tanto, siempre es conveniente minimizar las corrientes térmicas mediante el diseño cuidadoso de los sistemas de separación por gravedad.

Una de las aplicaciones económicas en la separación de líquidos, es el uso de un separador centrífugo para eliminar de los aceites lubricantes las trazas de agua y los sólidos suspendidos. Con estos equipos puede incrementarse enormemente la fuerza diferencial de separación entre dos o más líquidos. En este tipo de separación se utiliza con mucha frecuencia la flotación por medio de aire. El agua aceitosa se sujeta a una presión de 2 a 4 Kg/cm² y se difunde aire dentro del líquido, inmediatamente antes de descargarlo al tanque de separación, se alivia la presión. En este tanque las burbujas finas de aire se elevan a la superficie llevando las partículas de aceite y un desnatador giratorio recoge el aceite flotante que fluye por un canal colector hacia el tanque receptor. En estos sistemas se obtiene con facilidad una separación del 90% en períodos de retención muy cortos, en ocasiones no mayores de 30 minutos.

d) Desgasificación

Las operaciones de extracción, tales como la desaeración y aereación física, son procesos que sirven para eliminar los gases indeseables disueltos en el agua. Exponiendo grandes superficies de líquido a una fase de vapor deficiente en los compuestos que se desea suprimir pueden eliminarse uno o más gases disueltos, por ejemplo, oxígeno, bióxido de carbono, amoníaco o ácido sulfhídrico.

El equipo de desgasificación puede clasificarse en unidades de ebullición, de platos o goteo y de aspersión.

En el tipo de ebullición se hace burbujear un gas apropiado a través del líquido, durante el tiempo suficiente para cambiar el equilibrio de la presión del vapor y aumentar la superficie del líquido. En el pasado, este método se utilizó con frecuencia para la eliminación de ácido sulfhídrico y bióxido de carbono; actualmente, su principal aplicación es para separar el bióxido de carbono y el oxígeno del agua en los precalentadores que alimentan a las calderas, los que casi siempre trabajan a baja presión.

En el equipo de platos o de goteo, grandes superficies de líquido se exponen a la presión de vapor deseada, haciendo fluir lentamente el agua sobre placas, canales, tiras angostas o material de empaque, de donde escurre, cayendo en forma de pequeñas gotas o de capas delgadas. Este método también se utiliza para la eliminación de oxígeno y bióxido de carbono en los precalentadores de las calderas, a una presión de unos cuantos gramos y a temperaturas superiores a 100 C.

En los desaeradores que funcionan por aspersión o por aspersión y ebullición se utiliza la acción combinada de boquillas atomizadoras y la ebullición y arrastre para dividir el agua en finas gotas, que se exponen a las condiciones deseadas de presión de vapor. Este equipo cada vez tiene mayores aplicaciones, no solo en calentadores para calderas, sino también en la desaeración al vacío que sirve para eliminar el bióxido de carbono y el oxígeno del agua fría y el amoníaco del agua caliente.

La desaeración al vacío se efectúa en una o dos etapas, casi siempre en tanques de acero verticales, en donde el vacío se mantiene por medio de eyectores de vapor.

Excepto en la desaeración al vacío, siempre deben utilizarse algunos medios para mantener la presión parcial de los gases indeseables muy por debajo del punto en el que cesará la extracción. En un depósito o torre para desgasificación, el aire que se bombea o se inyecta a través del equipo arrastra el gas indeseable hacia la atmósfera. En los precalentadores de calderas el agente extractor es vapor, con una presión parcial de oxígeno libre. Por lo general se instala un condensador con respiradero para permitir que el agua que entra absorba la mayor parte del calor del vapor de extracción.

e) Dilución

La eliminación de las altas concentraciones salinas del agua de desecho proveniente de las industrias de los álcalis y del

petróleo, presentando un problema especial. Cuando deben descargarse sales inorgánicas, tales como cloruro de calcio y sulfato de calcio, se utilizan dos métodos. En uno de ellos se emplea la dilución con agua no contaminada y en el otro se efectúa una descarga controlada. En plantas donde la corriente de desecho es pequeña y se dispone de una cantidad considerable de agua de desecho no contaminada, (por ejemplo de las operaciones de enfriamiento), ambas corrientes se mezclan para que la concentración en el efluente de descarga no sobrepase el límite permitido. Cuando la cantidad de agua limpia disponible es insuficiente para diluir todo el desecho concentrado, se conserva cualquier excedente de este último y se elimina por descarga controlada.

En la descarga controlada se aprovechan las crecientes de los ríos durante los meses de invierno o las temporadas de lluvias para deshacerse de los desechos concentrados que de otra manera sobrecargarían el agua receptora.

Los desechos se almacenan en estanques y se liberan durante los periodos de mayor flujo. Esta operación puede requerir grandes superficies de tierra para las lagunas de almacenamiento; pero aun así, constituye el método más económico para resolver el problema.

La purga es un proceso de dilución en el cual las soluciones y suspensiones concentradas se sustituyen con agua más diluida. Generalmente en calderas con purga intermitente, la descarga pasa a un tanque atmosférico de drenaje perdiéndose tanto el calor del líquido como el del vapor que se desprende.

f) Eliminación del arrastre de líquido y sólidos.

Uno de los problemas fundamentales que se presentan en el diseño y funcionamiento de las calderas, es la separación mecánica del líquido y de los sólidos presentes en el vapor. Todas las calderas deben contar con separadores de arrastre. El método más sencillo consiste en permitir que dentro del domo de vapor, sobre el nivel del agua, quede un espacio libre suficiente para que las gotas arrastradas se separen. La mayoría de las calderas modernas cuentan con equipos internos, el separador de vapor, que elimina los contaminantes líquidos y sólidos, es de tipo mecánico y funciona por acción de la gravedad, la fuerza centrífuga, la tensión superficial o bien, mediante una combinación de éstas.

g) Destilación.

La destilación es el método más antiguo para obtener agua pura de alta calidad. Mediante este proceso puramente físico de evaporación y condensación pueden eliminarse casi totalmente tanto los sólidos disueltos como los suspendidos.

La alta calidad del producto que se obtiene, confirió al proceso de destilación una ventaja inicial sobre los métodos de tratamiento del agua para la alimentación de calderas. Empleando destilación, gran parte del problema de acondicionamiento del agua se maneja en evaporadores de baja presión, que pueden operarse en forma más eficiente. Los evaporadores, han encontrado una aplicación muy generalizada en plantas donde, de otra manera, se desperdiciarían grandes cantidades de vapor de bajo nivel o vapor de escape.

Cuando no se dispone de calor de bajo nivel en cantidades suficientes o se está aprovechando en aplicaciones más valiosas, el equipo de destilación por compresión es más económico. Estas unidades utilizan el principio de la bomba de calor para ahorrar el calor latente de evaporación. Los alambiques de compresión pueden impulsarse eléctricamente con motores primarios.

El equipo de destilación debe estar diseñado en tal forma que la eliminación de sólidos e incrustaciones pueda hacerse con un mínimo de obra.

Mediante la destilación fraccionada o múltiple se puede obtener agua destilada de una calidad extremadamente alta. En este proceso, parte del producto se condensa y escurre, lavando las sales y los sólidos que arrastra el vapor producido en el generador de vapor.

h) Descarga subterránea.

La descarga subterránea es un método para la eliminación de desechos líquidos dentro de los estratos permeables de la tierra. Solo constituye un método satisfactorio en zonas donde otros sistemas son muy costosos o se carece de cualquier otra solución. Los estratos permeables deben localizarse en tal forma que el desecho líquido que se bombea a ellos no contamine ningún abastecimiento de agua.

El agua de desecho debe estar estéril y estar libre de sólidos suspendidos. Es necesario someterla a pretratamiento completo para eliminar sedimentos, sólidos suspendidos, aceites y emulsiones. Se efectúa una cloración para asegurarse de que esté libre de microorganismos.

Se requiere aplicar una presión adicional superior a la que desarrolla la profundidad del manto acuífero, para obligar al agua a penetrar dentro de dichos estratos. El método se ha utilizado en unos cuantos lugares debido a la gran cantidad de estudios que se requieren y al alto costo de su instalación, sin embargo, es aplicable y no debe descartarse por completo.

i) Descarga a los océanos.

La descarga de agua de desecho a los océanos se practica en muchas plantas situadas a la orilla del mar. En realidad, se trata de un método de dilución. Es necesario tomar en cuenta la trayectoria de las corrientes del océano en dicha zona para asegurarse que el agua de desecho no se verá arrastrada a la costa y contamine las playas de balneario. El costo principal de este método reside en la construcción de un emisor que desemboque a una distancia que garantice la seguridad de la descarga. Los desechos tóxicos o los que tienen un alto contenido de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) generalmente se transportan en lanchones para llevarse mar adentro.

j) Desalinización

Actualmente se están llevando a efecto investigaciones y desarrollos para convertir el agua de mar y las aguas saladas en aguas apropiadas para uso general.

Puesto que el agua de mar contiene grandes cantidades de sales de calcio y de magnesio, además de su contenido de cloruro de sodio, una de las dificultades encontradas en la evaporación es la formación de depósitos, pero los estudios que se han hecho a la fecha sobre la prevención de formación de depósitos adherentes, han dado excelentes resultados. Así mismo, se ha colectado mucha información respecto a asegurar mayores velocidades de transferencia de calor y sobre el aumento del número de efectos que pueden ser empleados con evaporadores de ciertos diseños.

El proceso de congelación para desalar el agua del mar, depende del hecho bien conocido que cuando el agua de mar se congela, es el agua que se convierte en hielo, mientras que las salinas se encuentran en el líquido remanente.

La electrodialisis es un proceso interesante que se usa actualmente en algunas plantas para producir agua potable y agua de uso general a partir de agua salina, por medio de corriente directa y una serie de membranas de intercambio catiónico e intercambio aniónico alternadas colocadas una cerca de la otra.

2) Tratamiento químico

Este tratamiento es uno de los procesos en los que la separación de las impurezas del agua implica la alteración de la composición del material contaminante.

El tratamiento químico implica:

- a) Precipitación
- b) Intercambio de iones
- c) Reacciones
- d) Reacciones de óxido-reducción
- e) Neutralización
- f) Desgasificación
- g) Esterilización

a) Precipitación

Quando se añaden a una solución acuosa algunas sales solubles, parte de los iones libres pueden reaccionar para formar compuestos comparativamente insolubles. El precipitado se separa por filtración del líquido después de que se ha asentado el precipitado. La precipitación se produce de acuerdo con leyes definidas que rigen los pesos de combinación de los reactivos y sus productos de solubilidad. Muchos de los métodos que se describen a continuación dependen de la precipitación de las impurezas.

Suavizamiento: éste proceso consiste en añadir cal hidratada para eliminar la dureza de bicarbonatos. La cal disminuye la dureza de bicarbonatos formando carbonatos de calcio relativamente insolubles.

La eliminación de dureza de carbonatos calentando el agua para expulsar el bióxido de carbono disuelto, logra el mismo resultado que la adición de cal. La dureza de no carbonatos se elimina mediante la adición de carbonatos de sodio.

Si el magnesio se precipita por medio de cal, no se aprecia reducción de dureza. En algunos casos es más económico precipitar el magnesio con sosa cáustica, en vez de cal y carbonato de calcio.

La mayoría de las instalaciones para el ablandamiento por cal, carbonato y sosa cáustica, utilizan los lodos acumulados en suspensión para favorecer el crecimiento de las partículas de

precipitado. La unidad en que se realiza esta operación se conoce como precipitador de lecho de lodo suspendido.

El suavizamiento interno del agua en calderas es necesario, para convertir las sales que forman incrustaciones en lodos suaves que pueden eliminarse al purgarla. Los compuestos químicos cuya solubilidad aumenta con los incrementos en temperatura, pueden convertirse en lodos no adherentes; aquellos cuya solubilidad disminuye al incrementarse la temperatura, forman incrustaciones duras que se adhieren con fuerza.

En la práctica este tratamiento es mucho más complejo debido a la gran variedad de compuestos y mezclas de los mismos que puedan encontrarse en una caldera; a los efectos de la materia orgánica y a las velocidades de evaporación sobre la estructura de los cristales.

La eliminación de hierro y manganeso puede lograrse por precipitación, utilizando cal o sosa cáustica para ajustar el pH al nivel adecuado. Las aguas subterráneas contienen hierro y manganeso que deben eliminarse, estas generalmente tienen poco color o turbidez, excepto el que se debe a la presencia de estos minerales.

Las aguas de desecho de operaciones galvanoplásticas pueden contener cromo, el cual es tóxico para la vida humana y acuática, por lo que debe eliminarse antes de hacer la descarga final.

b) Intercambio iónico.

Ciertas sustancias insolubles, poseen la capacidad de intercambiar los iones enlazados en su estructura molecular con otros iones dentro del agua. Los iones intercambiados se liberan por un proceso de regeneración de la resina de intercambio. Dependiendo de la naturaleza de esta resina pueden intercambiarse iones de carga positiva o negativa. Existen una gran variedad de materiales sólidos que poseen esta propiedad reversible. Una diferencia que distingue a los procesos de intercambio de iones de la precipitación, es que en los primeros sólo se producen soluciones como desecho, en tanto que en el segundo se producen tanto líquidos como sólidos.

Esta importante diferencia puede ser un factor decisivo en la elección del proceso adecuado. La eliminación de lodos provenientes de un proceso de precipitación puede hacer que éste sea poco económico en comparación con el intercambio iónico. Por otro lado, la eliminación del agua de desecho en un proceso de intercambio de iones puede constituir un problema.

En el proceso de ablandamiento por intercambio catiónico ciclo sódico, los iones de calcio y magnesio se fijan en el

intercambiador catiónico, el cual transfiere a la solución una cantidad equivalente de sodio. El resultado es que aunque el agua obtenida es completamente blanda, su contenido de sólidos totales no disminuye y el efluente contiene las mismas cantidades de aniones-bicarbonatos, sulfatos y cloruros.

Cuando la habilidad del intercambiador catiónico para producir un agua completamente blanda se agota, ese ablandador se elimina temporalmente del servicio; se retrolava para limpiarlo, se regenera con una solución de sal común que elimina el calcio y el magnesio en forma de sales solubles de cloro y simultáneamente cambia el intercambiador catiónico a su estado de sal sódica, pudiendo volver al servicio para ablandar otra cantidad igual de agua dura.

En el proceso de intercambio catiónico ciclo hidrógeno, los iones de calcio, magnesio y sodio son intercambiados por hidrógeno. El resultado neto es que los iones de calcio, magnesio y también sodio son removido del agua; que la cantidad teórica de ácido carbónico formada de los bicarbonatos se descompone en dióxido de carbono y agua, y que las cantidades de ácido sulfúrico y clorhídrico, que corresponden a los sulfatos y cloruros presentes en el agua cruda, se encuentran en el efluente.

En el proceso de intercambio catiónico ciclo hidrógeno, la regeneración se efectúa con un ácido mineral. Los ácidos más comunes son el sulfúrico y el clorhídrico, su selección depende de consideraciones económicas.

El intercambio de iones se ha venido utilizando para recuperar cromo de los desechos industriales. Existe también una nueva técnica que se conoce con el nombre de exclusión de iones, el cual permite la separación de materiales iónicos y no iónicos tales como el cloruro de sodio, del alcohol etílico y del sulfato de sodio de la glicerina.

c) Reacciones

Existe un tercer método, que consiste en el secuestro de impurezas mediante la formación de complejos solubles. En este método ciertos iones normalmente positivos, tales como el calcio y el magnesio, reaccionan quedando firmemente sujetos dentro de un ion complejo negativo, de manera que la concentración de equilibrio del ion metálico es muy baja.

Mediante este proceso la concentración de iones metálicos libres se puede reducir hasta un punto en el que no se formen jabones insolubles. El agua así tratada puede tener cero de dureza al jabón y puede incluso redissolver el jabón de calcio precipitado

d) Reacciones de oxidación y reducción

Las sustancias orgánicas se pueden eliminar a menudo por oxidación. Los estanques de aspersión sirven para este propósito. Por medio de boquillas el agua se rocía en el aire en forma de finas gotitas que caen sobre el estanque. El contacto íntimo que se establece entre el agua y el aire permite la oxidación deseada y por lo general, se liberan los gases disueltos. También puede llevarse a cabo una oxidación con cloro, bióxido de cloro y ozono, para convertir materia orgánica objetable en compuestos inocuos.

e) Neutralización.

En algunos casos para que el agua que se utiliza en un proceso sea de calidad satisfactoria o para el tratamiento de aguas de desecho, se requiere la neutralización de la acidez de las aguas de desecho.

Muchas aguas subterráneas contienen concentraciones tan elevadas de bióxido de carbono que son demasiado ácidas. La aereación elimina casi todo el bióxido de carbono, pero no por completo, y el ph puede seguir siendo tan bajo que el agua es corrosiva. La neutralización también puede elevar el ph a un valor deseado o conveniente.

Cuando la cantidad de agua que debe tratarse es pequeña se utilizan los filtros de calcita. El carbonato de calcio neutraliza al ácido carbónico y el agua se estabiliza al mismo tiempo. La estabilidad significa que la relación alcalinidad-ph se ajusta para proporcionar un agua que no sea corrosiva y que tampoco forme depósitos.

Cuando se requiere procesar grandes volúmenes de agua se prefiere adicionar un álcali. El dosificador de la solución alcalina aumenta en forma continua una solución acuosa de sosa cáustica, carbonato de sodio o lechada de cal. La adición debe hacerse a una velocidad controlada para mantener el valor del ph. La neutralización no es instantánea y se requiere un período de contacto que por lo general no sobrepasa a los 5 minutos.

En el tratamiento de desechos se encuentran aguas tanto alcalinas como ácidas y antes de descargarlas a una corriente se deben neutralizar los ácidos y los álcalis libres.

f) Desgasificación

El bióxido de carbono disuelto puede eliminarse químicamente agregando cal, carbonato de sodio o sosa cáustica para formar bicarbonatos solubles o carbonatos relativamente insolubles.

Para complementar la desaereación física, también puede eliminarse del agua el oxígeno disuelto, utilizando medios químicos. Se emplea el sulfito de sodio como tratamiento final para consumir el oxígeno disuelto que no se elimina mediante la desaereación en los precalentadores de agua de alimentación.

En el proceso de cloración, puede combinarse el cloro disuelto con sulfito, bióxido de azufre, tiosulfato o bisulfito. Por lo general se aplican métodos químicos sólo para eliminar residuos de cloro en una concentración baja.

g) Esterilización y desinfección

En general todos los depósitos de agua, ya sean superficiales o subterráneos, contienen bacterias cuyo tipo y número dependen de las condiciones existentes. Las bacterias del suelo deben eliminarse en forma más o menos total del agua de los abastecimientos municipales, y los organismos patógenos se suprimen por completo. En el agua para uso industrial casi siempre puede tolerarse la presencia de organismos, dependiendo su número y el proceso al que se aplique.

Cuando se trata de volúmenes pequeños que requieren esterilización, como sucede en un laboratorio, basta con calentar el agua a la temperatura de ebullición. Cuando se requiere un tratamiento continuo como en una planta de purificación de agua, se usan agentes bactericidas, el más común de estos es el cloro, ya sea en forma de gas o como hipoclorito.

Existen también tratamientos químicos para inhibir o destruir el desarrollo de crecimientos biológicos; esto es mediante la esterilización, o para estimularlos mediante la hidroponia.

Los procesos de cloración, los cromatos y sales de cobre, cinc y plata, fenol y muchos más son eficaces para controlar casi todos los crecimientos biológicos en el agua.

3) Procesos fisicoquímicos

Varios procesos importantes de tratamiento de agua dependen de la acción química y física combinada, entre ellos se encuentran:

- a) La coagulación
- b) La absorción y adsorción
- c) Desactivadores de crecimiento de cristales
- d) Aditivos que modifican la tensión superficial
- e) Inhibición de la corrosión

a) La coagulación

Si un agua turbia o coloreada se pasa a través de un filtro sin coagularse previamente, se verá que toda la turbidez y el color pasan a través del filtro. Esto se debe a que el color o la turbidez están formados por partículas coloidales que pasan por el medio filtrante. De aquí que sea necesario tratar el agua antes de filtrarla, de manera que estas partículas se aglomeren formando grumos que pueden ser retenidos por los filtros. Este tratamiento se llama coagulación, las sustancias químicas usadas son coagulantes y los precipitados gelatinosos que se obtienen se llaman flóculos.

Las sustancias que se usan en la coagulación son compuestos de hierro y aluminio, usualmente sus sulfatos. Las dosis del coagulante y el pH óptimo varían para cada agua en particular.

Las aguas más difíciles de coagular son las aguas altas en color, libres de turbidez y de bajo contenido de materia inorgánica disuelta.

b) Absorción y Adsorción.

A menudo para eliminar del agua el color, el sabor y los olores, se utilizan procesos de adsorción y absorción de materias orgánicas y coloidales, formándose precipitados floculentos de sedimentación más rápida.

La adsorción es la adherencia física de las moléculas a la superficie de un sólido, sin que se produzca una reacción química. La absorción es la incorporación de moléculas de sustancias extrañas dentro de la estructura física de un líquido o un sólido,

sin que se produzca una reacción química.

En estos procesos se consume una menor cantidad de reactivos cuando el precipitado floculento se desarrolla en el agua sin adicionar un precipitado preformado.

La adsorción sobre hidróxido férrico puede reducir el contenido de sílice, el hidróxido de magnesio separa también al sílice y con frecuencia se emplea conjuntamente con el tratamiento de cal y carbonato.

Con frecuencia los olores, sabores y gases disueltos que contaminan el agua, se eliminan por absorción mediante el uso de carbón activado.

c) Desactivadores de crecimiento de cristales

En diversos procesos de tratamiento se emplean las propiedades de desactivación superficial de numerosos compuestos químicos, con objeto de retrasar o inhibir el crecimiento de cristales. Los polifosfatos presentan esta propiedad en diferentes grados. Los materiales orgánicos, tales como el tanino la lignina y muchos otros, tienen también propiedades de desactivación superficial. Probablemente, las superficies de los cristales se recubren con capas o películas moleculares o submicroscópicas del desactivador superficial, lo que reduce, altera o inhibe el desarrollo posterior del cristal.

El tratamiento de umbral es un ejemplo en el que se inhiben los depósitos de carbonato de calcio, aunque estén presentes concentraciones superiores a la solubilidad normal del material. La desactivación superficial tiene muchas aplicaciones, entre ellas, se emplea la hidroponia para mantener en solución los elementos de muy baja solubilidad y en otros procesos para limitar el tamaño de los cristales.

d) Aditivos que modifican la tensión superficial

Muchos compuestos químicos tienen la propiedad de cambiar en forma notable la tensión superficial natural del agua. Los compuestos que reducen la tensión superficial se conocen como agentes humectantes y los que la incrementan se denominan supresores de espuma. Existen muchos agentes humectantes comerciales y pueden aplicarse a muchos usos industriales, tales como la operación de lavanderías, el combate de incendios e innumerables aplicaciones más.

e) Inhibición de corrosión

El acondicionamiento del agua para el control de la corrosión implica procesos tanto físicos como químicos que deben funcionar en forma conjunta. Las películas protectoras que inhiben el deterioro del metal son barreras físicas. La formación y el mantenimiento de dichas películas pueden ser el resultado de una reacción química. Algunos de los procesos fisicoquímicos para la inhibición de la corrosión son los siguientes:

Protección catódica: Los metales que están en contacto con el agua tienden a disolverse, produciendo iones de carga positiva. En un sistema eléctricamente neutro, los iones de carga positiva, sólo pueden entrar a la solución cuando se deposita un número equivalente de iones positivos de algún otro elemento. En el caso del agua pura que esté en contacto con un metal, por ejemplo, el hierro, se desprenden de la interfase iones de hidrógeno.

El hidrógeno liberado forma una delgada película aislante sobre el metal, la cual previene cualquier corrosión subsecuente. A partir de entonces, la reacción de corrosión se desarrolla a una velocidad que está en función de la velocidad de eliminación de la capa de hidrógeno atómico. Cualquier método que ayude a conservar la capa protectora de hidrógeno reducirá la corrosión. El acero galvanizado proporciona una forma de protección a la corrosión.

4) Tratamiento biológico

La purificación biológica se utiliza comúnmente para tratar aguas de desecho que contienen materia orgánica disuelta. Las bacterias desdoblan los compuestos complejos en otros más sencillos y estables; los productos finales normales son bióxido de carbono, agua, nitratos y sulfatos.

Este cambio se realiza mediante el metabolismo y síntesis celular de los microorganismos presentes. Por lo general, los procesos se llevan a cabo en presencia de un exceso de oxígeno disuelto y la operación se conoce como descomposición aeróbica. Existe otro grupo de microorganismos que puede desarrollarse en un ambiente carente de oxígeno disuelto y en estas condiciones se tratará de descomposición anaeróbica.

Los contaminantes o desechos que genera cada industria varían tanto en cantidad como en composición, dependiendo de los procesos empleados, por lo tanto, las características de las aguas de desecho de un proceso industrial pueden variar significativamente

dependiendo de éste. En consecuencia, antes de controlar la calidad del agua, se deben conocer los diferentes aspectos que caracterizan a las propiedades químicas y físicas de las posibles fuentes de abastecimiento de agua, así como los requisitos exactos que debe satisfacer el líquido que se utilizará en un determinado proceso; con lo cual puede desarrollarse el programa de tratamiento adecuado.

El tratamiento excesivo produce un gasto innecesario, y el subtratamiento también cuesta dinero debido a la baja eficiencia o a las fallas que se presentan en el equipo, además de que origina tiempos improductivos, eleva los costos de mantenimiento y es causa de calidad deficiente del producto.

Por lo tanto, es obvio que se requieren métodos de prueba tanto para el programa analítico como para el programa de control subsecuente.

Para diseñar un programa de tratamiento completo y efectivo, es necesario determinar todas las variables que pueden influir en el uso del agua tratada.

Existen cuatro factores que influyen en la planeación de un programa de análisis:

- 1) Determinar cuales etapas del sistema requieren control y, por lo tanto, análisis.
- 2) Determinar, en cada etapa, los constituyentes que deben controlarse y, por ende, el grado de exactitud que se requiere en el análisis.
- 3) Especificar el método que se usará para cuantificar un constituyente en particular
- 4) Determinar la frecuencia de los análisis para dicho constituyente.

A continuación se presenta un resumen de las combinaciones de procesos de tratamiento que se usan comunmente para tratar desechos industriales.

- 1.- Eliminación de los sólidos suspendidos de tamaño apreciable, por medio de cribado o sedimentación.
- 2.- Eliminación de grasas aceites y sólidos grasos por medio de flotación y desnatado, auxiliado en algunos casos por tratamiento químico.
- 3.- Eliminación de los sólidos coloidales por

floculación con coagulantes químicos y electrolitos, seguida de sedimentación o incluso filtración.

- 4.- Neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas, por adición de productos químicos.
- 5.- Eliminación o estabilización de los sólidos disueltos mediante precipitación química, permutación iónica, procesos biológicos, o sus combinaciones.
- 6.- Decoloración por tratamiento químico, con sedimentación o filtración, o con ambas.
- 7.- Reoxigenación de los desechos por medios adecuados de aireación.
- 8.- Disminución de la temperatura de los desechos excesivamente calientes, por enfriamiento.

CAPITULO 4

EL AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA

El abastecimiento de agua a la industria se realiza preferentemente de fuentes subterráneas; el 85% del volumen total usado procede de este tipo de fuentes, el restante proviene de fuentes superficiales y un porcentaje muy bajo de agua reusada procedente de otros sectores. El abastecimiento se efectúa en un 77% con captaciones propias, y el resto lo hace de los sistemas públicos municipales. Esto significa que tres cuartas partes del agua industrial sólo pague los costos de explotar la fuente, la adecuación de calidad y la puesta de fábrica. Ello implica también que las industrias que se autoabastecen tienen plena libertad de explotar sus captaciones y cuentan con la concesión de la SARH.

Actualmente el usuario perfora el pozo respectivo; la tendencia es que el pozo pase a ser propiedad federal y el usuario se encarga de mantenerlo y operarlo. Solo deberá cubrir a la SARH una cuota igual al precio por m³ que se pague en el sistema público de abastecimiento más cercano al lugar del aprovechamiento en cuestión.

Por otro lado, el resto del abastecimiento industrial se realiza mediante sistemas públicos y se pagan las tarifas correspondientes, las cuales varían de localidad a localidad.

En este caso los industriales, con sólo pagar las cuotas establecidas, disponen del agua que requieran, pero a su vez transfieren la responsabilidad del manejo al organismo que la suministra.

Es por estas razones que hasta ahora el uso del agua residual en la industria se efectúa en localidades donde el problema de abastecimiento es muy agudo, como el caso de Monterrey, N.L., en donde se tiene capacidad instalada para reusar 65 millones de m³ de aguas residuales al año. En la ciudad de México, existe una capacidad instalada de 180 millones de m³ anuales. Cabe aclarar que en Monterrey toda se reusa en industrias, y en la cd. de México el reuso es principalmente para áreas verdes.

Como se ve la recirculación de agua en la industria es un elemento importante en el abastecimiento de este sector. Se estima que es posible recircular cuando menos 2 300 millones de m³ (50% del volumen total abastecido) los cuales se utilizan actualmente

en enfriamiento una sola vez. Esta práctica significaría una reducción del orden del 20% en el volumen total demandado (900 millones de m³).

Algunas de las industrias que usan agua tratada principalmente en enfriamiento son: Hojalata y lámina, S.A.; Planta Eléctrica Grupo Industrial; Pigmentos y Oxidos; Insecticidas Cruz Negra; Bakelite de México; Troqueles y Esmaltes S.A.; Talleres Industriales; Industrial del Alkali, etc.. Estas industrias se encuentran en las ciudades de Monterrey, México, Saltillo, Guadalajara, Acapulco, Veracruz y Punta Peñasco.

Un factor importante de considerar es el actual estado de contaminación en que se encuentran los cuerpos receptores de agua en el país, puesto que este problema se solucionaría en gran parte con el reuso del agua en la industria.

Sin duda, los mayores volúmenes de contaminantes que se vierten en los cuerpos de agua son de origen industrial, llamados contaminantes de tipo conservativo, que son aquellos que no reintegran al ciclo natural los elementos de que están formados y tienden a permanecer por muy largos períodos de tiempo en su forma original, sin ser afectados por los procesos biológicos y geofísicos que generalmente afectan a la materia.

Con el fin de acelerar y ordenar el desarrollo del sector industrial fue creado el Plan Nacional de Desarrollo Industrial que conjuntamente con el Plan Nacional de Desarrollo Urbano definen prioridades y metas regionales tomando en cuenta, la disponibilidad de recursos y estado actual de contaminación de los abastecimientos.

Para la implantación del reuso del agua en una industria se debe tomar en cuenta:

- a) Identificación del área del problema.
- b) Descubrimiento de la opciones y alternativas.
- c) Evaluación de opciones
- d) Costos y beneficios.
- e) Especificaciones y detalles de la opción convenida.

A continuación se analizan los diversos sistemas de retorno y reutilización para una eficiencia mayor del uso del agua.

1) REUTILIZACION DEL FLUJO RETORNADO.

La naturaleza del complejo industrial y de la corriente receptora desempeñan un papel primordial en la determinación de la importancia de la calidad del flujo de retorno. Si la corriente receptora es lenta o si la proporción de extracción en relación al flujo es grande, los procesos químicos, físicos y biológicos que normalmente restituyen la calidad del agua son casi siempre ineficientes y los consumidores corriente abajo recibirán un flujo de calidad muy inferior.

Sea cual fuere el volumen de flujo de la corriente de donde se extrae el agua, mientras más industrias existan a lo largo de sus riberas, mayores serán los problemas de calidad, aumentando en forma constante la cantidad de agua de desecho en el agua disponible para dilución y reduciéndose la distancia y el tiempo de recuperación entre cada usuario. El aumento previsto en la actividad industrial durante las siguientes décadas incrementará notablemente el volumen y la variedad de los contaminantes del flujo de retorno. Esto puede llegar a constituir un problema grave para los que reutilizan este flujo, a menos que se apliquen los tratamientos adecuados que contraarresten la acción de las descargas de desechos industriales contaminantes.

Es conveniente eliminar del flujo de retorno de todas las corrientes superficiales la mayor parte de la contaminación. Al aumentar la industrialización, el uso eficaz del agua puede requerir que ciertas corrientes se consideren como vías de desecho industrial, en tanto que otras se mantengan lo suficientemente limpias para utilizarse como abastecimiento de agua potable o para actividades recreativas.

a) Agua subterránea.

Los sistemas de reutilización del flujo de retorno a corto plazo no son tan fáciles de aplicar cuando se trata de suministros de aguas subterráneas, como en el caso de las fuentes superficiales. Sin embargo, en ciertas zonas en las que la precipitación pluvial es limitada y se cuenta con pocas corrientes superficiales, el agua subterránea puede ser el abastecimiento principal si no es que el único. Si se extrae agua a velocidades que sobrepasan la recarga del depósito subterráneo (manto acuífero) da como resultado una reducción en los niveles freáticos y el hundimiento de la tierra. En las regiones costeras, la disminución de los niveles freáticos puede causar una gran intrusión de agua salada. Estas circunstancias han incrementado el interés en los métodos de recarga de aguas subterráneas. El hecho de devolver el agua de desecho a los mantos acuíferos subterráneos

tiene también el atractivo de que el proceso de infiltración mejora la calidad del agua haciéndola nuevamente utilizable.

La recarga de agua subterránea se puede lograr ya sea mediante pozos de inyección directa o bien, diseminando el agua en zanjas, sistemas de surcos o depósitos de recarga. La recarga a través de los pozos es muy costosa, implica el riesgo de que el agua contamine el abastecimiento debido a reacciones químicas o geoquímicas desfavorables e interfiera en la capacidad autopurificadora del suelo. La inyección en pozos es mas apropiada para recargas de agua de enfriamiento donde el único contaminante de importancia es el calor.

2) SISTEMAS COOPERATIVOS DE REUTILIZACION. (Sistemas en cascada o tándem)

a) Aguas negras

El sistema de reutilización cooperativo o en cascada constituye un caso especial del flujo de retorno en los que un usuario pasa el agua de desecho de su operación directamente a otro usuario, en lugar de devolverla a la fuente general de abastecimiento. El agua de desecho más común que se utiliza en este tipo de operación es el efluente de los drenajes domésticos. Esto se debe a que casi siempre se dispone de efluentes de plantas de tratamiento de aguas negras que, por lo común, poseen una calidad aceptable.

El uso en cascada del afluente de aguas tiene la ventaja de reducir la demanda del abastecimiento primario y, por ende, amplía su término de vida.

b) Uso de los desechos industriales.

También se puede practicar, hasta cierto grado, la reutilización en cascada o tándem del agua de desechos industriales, y es probable que su aplicación siga aumentando en el futuro, debido a la gran concentración de industrias en ciertas zonas. Se aplica este plan, cuando los recursos de agua imponen limitaciones a la cantidad de agua que se puede extraer. Cuando las fábricas están situadas muy cerca unas de otras y la corriente receptora está muy contaminada, el agua de desecho de una planta, que previamente se había extraído y tratado, tiene a veces mayor calidad que la que se obtiene de la corriente. Si este es el caso,

es más ventajoso para el usuario corriente abajo tomar el agua de desecho directamente del primer usuario en lugar de bombearla de la fuente original.

3) SISTEMAS LOCALES DE REUTILIZACION

Dentro de una planta existe un considerable reciclaje del agua después de que se toma de la fuente y antes de descargarla como desecho. Esto se logra mediante los "sistemas locales de reutilización", que se pueden dividir en varios tipos principales: reciclaje simple, reciclaje múltiple y cascada; pero, por lo general, se utilizan combinaciones de dos o más.

a) Sistema de reciclaje simple.

El sistema de retorno del condensado de una planta de generación de electricidad por vapor es el tipo más conocido de un sistema de reciclaje simple local. Debido al cuidadoso tratamiento que se da al agua de alimentación de una caldera, se requiere que se utilice al máximo grado práctico. Esto se logra haciendo volver al condensado del vapor a la tubería de alimentación de la caldera por medio del condensador y de intercambiadores que recuperan calor.

El condensado se desgasifica en forma parcial dentro del condensador y pasa a un desaereador, con el fin de reducir al mínimo el oxígeno disuelto. Sin embargo, existen pérdidas debidas a fugas de vapor y a la necesidad de que una pequeña parte de agua arrastre a los productos de corrosión y reacción de cualquier tratamiento interno, por lo tanto el condensado devuelto se complementa con una pequeña cantidad de agua tratada de remplazo, tomada de la fuente principal de agua. El reciclaje del condensado en una planta de calderas con un buen mantenimiento constituye el sistema de reutilización más perfecto disponible.

b) Sistema de reciclaje múltiple.

Este sistema mantiene separadas las corrientes de desecho y pueden aplicárseles tratamientos simplificados e individuales, según las necesidades del producto del que se trate. En un sistema de reciclaje múltiple, circuitos paralelos transportan diferentes grados de agua de proceso y enfriamiento. Aunque los circuitos de una red múltiple pueden funcionar con sistemas de purificación individuales (intercambio iónico, etc.), es más común mantener la calidad de cada circuito haciendo pasar en forma continua una parte del agua circulante a los desechos o a otra aplicación menos crítica dentro de la misma planta industrial.

Cuando el agua de desecho se pasa a otro proceso o circuito

de enfriamiento, el sistema se convierte en un reciclaje en cascada de ciclos múltiples.

c) sistema en cascada.

El agua extraída de la fuente de abastecimiento fluye primero al equipo o al proceso que requiere el agua más fría o más pura y, a partir de ese punto, pasa a operaciones sucesivas en donde se pueden tolerar aguas con temperaturas más elevadas y calidades más deficientes. En esta forma, el desecho de una operación se convierte en la fuente de abastecimiento de la siguiente. Las etapas de la cascada pueden ser circuitos de un solo paso o de varios ciclos, aunque un sistema de cascada no reduce la pérdida de agua ni disminuye el desecho que finalmente debe tratarse o eliminarse. Sin embargo, generalmente reduce el número de instalaciones requeridas para enfriamiento de agua o tratamiento de desecho y, por supuesto, aumenta el porcentaje de reutilización.

Su principal desventaja consiste en la necesidad de diseñar intercambiadores de calor y equipos de procesamiento que toleren el agua de calidad relativamente pobre en las últimas etapas.

Aunque el sistema en cascada no reduce la cantidad de agua perdida por evaporación, e inclusive puede aumentar dicha pérdida, incrementa en forma marcada la proporción entre el agua utilizada y el agua extraída.

4) SISTEMAS DE INTEGRACION DE PROCESOS.

En algunos sistemas de cascada y reciclaje, se producen desechos especialmente perjudiciales que hacen necesario diluir considerablemente los efluentes concentrados finales o bien requieren de la instalación de costosos sistemas para la eliminación de desechos.

Los problemas que causan los desechos orgánicos pueden solucionarse por medio de ingeniosas combinaciones de algunos procesos industriales. Existen muchas posibilidades para mejorar la reutilización a través de procesos, que pueden ser aprovechadas para controlar los problemas de los desechos industriales.

Para llevar a cabo la implementación de un sistema de reutilización es importante considerar los siguientes elementos:

- a) Los requisitos cuantitativos y cualitativos de agua para todas las operaciones de proceso.
- b) El costo relativo de otros posibles abastecimientos

de agua.

- c) La eficiencia con que se utiliza el agua en los diversos planes y alternativas considerados.
- d) La adaptabilidad de otros sistemas de reutilización a las operaciones necesarias.
- e) Ventajas generales de los sistemas alternos.
- f) La severidad de los problemas de la eliminación final de desechos.

En cualquier evaluación de este tipo, es importante recordar que debido al rápido cambio de la economía industrial el uso del agua es una operación muy dinámica, por lo cual deberá buscarse cierta flexibilidad y hacer una evaluación continua del mejor aprovechamiento y utilización del agua.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES.

Con base en lo presentado en este trabajo se puede apreciar que uno de los principales problemas que se afrontan tanto en el presente como en el futuro en lo referente al agua, es la creciente contaminación de ésta y podemos afirmar que el principal foco de infección de las aguas del país es el sector industrial.

La contaminación más crítica en aguas superficiales se registra en los ríos Pánuco, Lerma Santiago, Balsas, Bravo, Conchos, San Juan, Blanco y Coatzacoalcos.

En cuanto a la legislación para regular el problema de la contaminación, tenemos lo dispuesto en el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas, publicado en el Diario Oficial el 29 de Marzo de 1973, en el cual todas las empresas deberán dar tratamiento primario a sus afluentes líquidos para que con ésto se reduzcan los altos niveles de contaminación aportados generalmente a las corrientes superficiales que utilizan como cuerpos receptores, degradando su calidad y consecuentemente su uso real y potencial.

El agua es sumamente importante para el desarrollo industrial del país, de ahí que una alternativa para reducir su contaminación y darle un mejor uso, es implantando sistemas de tratamiento primario, secundario o terciario, dependiendo del tipo de contaminante de que se trate, y después reutilizarla con cualquiera de los sistemas existentes.

Algunas de las ventajas que trae consigo la reutilización del agua en la industria son:

- 1.- Disminución de la contaminación a los cuerpos receptores.
- 2.- Recuperación del agua.
- 3.- Recuperación de los subproductos.

- 4.- Reducción de los volúmenes de aguas residuales.
- 5.- Reducción en el empleo de agua potable, la cual puede destinarse a otros sectores.

El mayor problema en la implantación de la práctica de reuso del agua, radica inicialmente en su restricción para uso humano, y por otro lado, el alto costo de la inversión inicial para su tratamiento comparado con el bajo costo del metro cúbico de agua potable, genera desinterés por parte de las industrias.

RECOMENDACIONES.

- 1.- Establecer tarifas y cobro del agua por servicio medido, siempre y cuando éstas sean reales, equitativas y diferenciadas a todos los usuarios.
- 2.- Promover la legislación referente en cuanto a usos prioritarios del agua, así como la calidad requerida en las industrias y su disposición final:
- 3.- Incluir criterios para selección de tecnología y ubicación de plantas industriales en zonas prioritarias del Plan Nacional de Desarrollo Industrial, tomando en cuenta disponibilidad de agua.
- 4.- Reusar el agua de descarga de la población en la industria.
- 5.- Orientar el uso de aguas residuales con autoridad legal y administrativa hacia actividades industriales en zonas y localidades prioritarias, así como la recirculación intensiva del agua.

BIBLIOGRAFIA

American Society for Testing and Material. Manual de aguas para usos industriales. Editorial Limusa. México.

Babbitt, H.E., y E.R. Baumann. 1958. Sewerage and sewage treatment, 8a. ed., Wiley, Nueva York.

Canp. T.R. 1964. Water and its impurities, Reinhold, Nueva York.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1984. Manual de tratamiento de aguas. Editorial Limusa. México.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1983. Manual de tratamiento de aguas negras. Editorial Limusa. México.

Fair, G.M. Geyer, J.CH, y Okun, D.A. 1983. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. Editorial Limusa. Vol. 1 y 2. México.

Lara Ayala, C.A. 1986. Disponibilidad de las aguas superficiales y subterráneas en el territorio nacional. Tesis. Universidad La Salle. México.

Manual de Normas de Calidad para Agua Potable, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Publicas, 1982.

Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Mundial de la Salud Serie Técnica No. 14.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981. Anexo 2 "Disponibilidad de agua y suelo". México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico 1981. Anexo 3 "Usos del agua". México.

Ward, H.B. y Whipple, G.C. 1919. Fresh Water Biology. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1111 p.

Whipple, G.C. 1927. The Microscopy of Drinking Water, New York, John Wiley & Sons, Inc., 586 p.