



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO

INGENIERIA CIVIL



“ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTAN:

**CARLOS FORTINO CORTINA DOMINGUEZ
RICARDO MÁRQUEZ ORTIZ**

ASESORA:

ING. MARGARITA P. REYES QUINTERO

“La técnica al servicio de la patria”

México, D.F. Noviembre 2008



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO

INGENIERIA CIVIL



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES Y TITULACIÓN



"50 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones"

"50 Aniversario del CECyT 14 Luis Enrique Erro"

"40 Aniversario de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas"

"40 Aniversario del Planetario Luis Enrique Erro"

No. DE OFICIO SAC. EP.458.12.07

ASUNTO: SE DESIGNA ASESOR
DE TESIS COLECTIVA

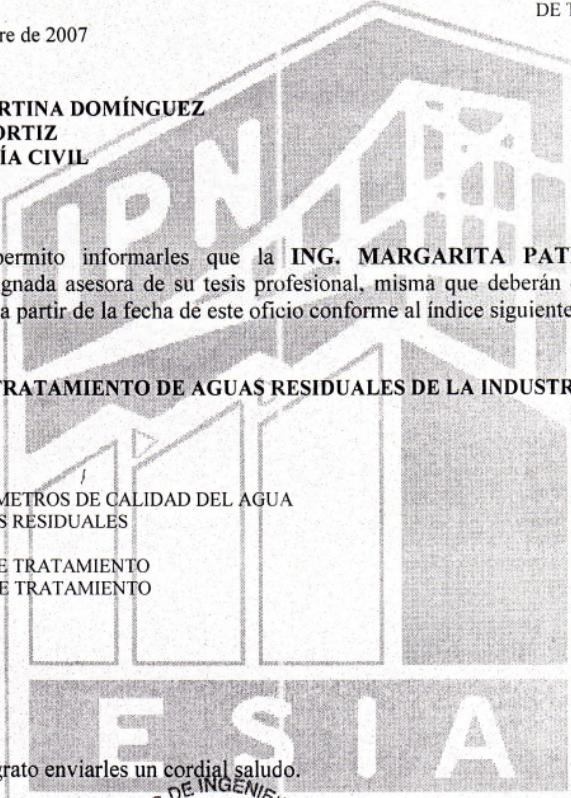
México, D.F., a 14 de diciembre de 2007

C. CARLOS FORTINO CORTINA DOMÍNGUEZ
C. RICARDO MÁRQUEZ ORTIZ
PASANTES DE INGENIERÍA CIVIL
P R E S E N T E S

Por este conducto me permito informarles que la **ING. MARGARITA PATRICIA REYES QUINTERO**, ha sido designada asesora de su tesis profesional, misma que deberán desarrollar en un término no mayor a un año a partir de la fecha de este oficio conforme al índice siguiente:

"ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL"

- OBJETIVO
INTRODUCCIÓN
1.- ASPECTOS GENERALES
2.- NORMATIVIDAD Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
3.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
4.- ESTUDIOS BÁSICOS
5.- ELECCIÓN EL MÉTODO DE TRATAMIENTO
6.- DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
CONCLUSIONES
ANEXOS
APÉNDICES
REFERENCIAS



Sin otro particular, me es grato enviarles un cordial saludo.

A TENTAMENTE
"LA TÉCNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"

M. en C. JUAN JOSÉ VILLALPANDO CÁZARES I.P.N.
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
UNIDAD ZACATENCO

ccp. Ing. Margarita Patricia Reyes Quintero - Encargada de la Academia de Ing. Sanitaria

JJVC*RNV*lrv

Av. Juan De Dios Bátiz s/n. Edificios 10, 11 y 12 Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Colonia Linda Vista Zacatenco
México, 07738, D. F. Tel. 57.29.60.00 Ext. 53049



AGRADECIMIENTO

Primeramente doy gracias a Dios por haberme dado la vida y una familia tan hermosa, unida y con muchas cosas que enseñarme a valorar.

Especialmente a dos personas que en paz descansen.

+Abuelita Monica nunca olvidare tus enseñanzas que con el tiempo fueron parte de mí, que con tanto sudor lograste sacar adelante a la familia Cortina Arenas por eso eres la mejor.

+A ti Mamita Sofía que formaste a lado de mi Padre Marcos esta gran familia y tuvieron esa fe en mí para lograr este gran paso en mi vida

Mama tú fuiste el motor que me impulso a seguir con mis estudios y con gran esfuerzo durante mis noches de desvelo estuviste al pendiente de mí y mis amigos, siempre los tuviste en tu seno maternal como tus propios hijos.

Me hace sentir tranquilo y con gran seguridad que desde donde quiera que estés me guías por el camino del bien y me brindas sabiduría para salir adelante en todos mis proyectos, te amo, te llevo dentro de mi corazón y nunca te voy a olvidar.

Ustedes hermanos y hermanita; Fabri, Alex, Lupe, Poncho y Yuri, que me apoyaron moralmente para cumplir con este objetivo importante en mi vida y mostrarme que lo más importante es estar unidos como nuestros padres nos inculcaron, ese apoyo que recordare siempre como ejemplo de lucha y superación, los quiero mucho.

A mis tíos y tías; Martin, Crispín, Gabriel, Mago, Irma, Tere, Columba y Luisa que su apoyo siempre fue incondicional y tuvieron el coraje de sacar adelante ese valor de humildad al brindarme su confianza para ver realizado ese gran sueño de tener un profesionista en la familia, con gran respeto que se merecen los quiero mucho.

Primos y primas especialmente a Fabián, Fili, José, Christian, Betty, Mari, Ángel, Gaby y Pao que convivimos juntos en los momentos de felicidad y tristeza, doy lo mejor de mí para que siempre permanezcamos con esa gran alegría que nos distingue y podamos ver realizadas nuestras metas y objetivos los quiero mucho.

A Ricardo que permitió que nuestro trabajo se realizara conjuntamente y fuera lo más importante para ambos y lograr así el objetivo deseado.

Matias, Ricardo, Javier, Miguel y Munive, amigos míos que tuve la fortuna de conocer y formar parte de nuestra carrera profesional,



Como olvidar esos días de escuela en los que juntos logramos cimentar una gran amistad y que con mucho esfuerzo, dedicación y desvelos pudimos ser alguien más en la vida profesional.

Amistad que perdurara por mucho tiempo y tengan muy en cuenta siempre estaré para lo que se nos ofrezca en cualquier circunstancia de la vida y sepan que ustedes fueron pieza fundamental para llegar hasta este sueño hecho realidad hermanos Ingenieros Civiles.

A ustedes maestros que con sus enseñanzas me permitieron llegar hasta lo más alto de mi carrera profesional, con gran entusiasmo acepto la responsabilidad y servir a nuestra patria.

A mi asesora la Ingeniera Margarita Patricia Reyes Quintero que siempre tuvo la paciencia y sabiduría de motivarnos para salir adelante con este importante proyecto, mis más sinceras gracias para ella y con gran humildad.

Gracias por todo a aquellas personas que me apoyaron incondicionalmente y confiaron en mí poniendo toda su fe para que se realizara este gran logro en mi vida profesional.

ATENTAMENTE

INGENIERO CIVIL CARLOS FORTINO CORTINA DOMÍNGUEZ

"LA TECNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"



DEDICATORIA

La tesis que con gran esfuerzo y dedicación logramos concluir, es sin duda el reflejo de muchos años de estudio por esa razón la dedico a quienes forman parte de mi carrera profesional e indudablemente a mi familia que forjó mi destino e hizo posible con su apoyo incondicional este objetivo que durante mucho tiempo quisieron ver por concluido, y confiar en mí para crecer como Ingeniero Civil.

Es sin duda mi Mama la persona más importante que tengo en mi corazón y te dedico esta tesis porque siempre quisiste que fuera un hombre de provecho en esta vida y confió plenamente que no te voy a defraudar nunca, en donde quiera que te encuentres con mucho amor te dedico este logro que conseguí en mi vida profesional.

También dedico esta tesis a aquellas amigas mías que estuvieron al pendiente de mi desempeño como estudiante y amigo, mientras realizaba este trabajo que con mucho esfuerzo y sudor en mi frente logramos sacar adelante.

A mis amigos Ingenieros Civiles les dedico mi tesis porque sin ellos hubiese sido muy rutinaria mi estancia en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco, con gran cariño.

ATENTAMENTE

INGENIERO CIVIL CARLOS FORTINO CORTINA DOMÍNGUEZ

"LA TECNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA"



AGRADECIMIENTO

Por fin, los agradecimientos. La primera pagina que vera el lector, pero la ultima que he escrito. El trabajo está hecho, y ya solo queda dejar constancia de todo lo que debo a tanta gente. Por otra parte no me preocupare de que quede una página única e interesante. Solo intentare de transmitir mis sentimientos hacia todos los que han hecho posible que esté ahora terminando este trabajo.

A MI MADRE

Tú que has formado mi ser con tu inagotable amor de madre,
que me has ayudado a levantarme de mis caídas con tus sonrisas.
Por todo el apoyo que me has brindado sin obtener nada a cambio
Por las palabras de aliento que siempre me diste
Cuando más lo necesitaba, por la fortaleza
que siempre me mostraste y por ser mi ejemplo a seguir
Madre estaré eternamente agradecido.

A MI PADRE

Gracias por el apoyo que me has brindado
Siempre deseándome lo mejor y enseñándome
Cada vez más el valor del trabajo y esfuerzo que
Se tiene que dar para poder lograr todos los objetivos que me proponga.

A MI ESPOSA

A ella que ha estado a mi lado y brindarme todo su amor y apoyo incondicionalmente y que me ha permitido terminar nuestros objetivos y metas juntos, le dedico este trabajo en el que se refleja el esfuerzo y tiempo dedicado en el. Muchas Gracias y te amo mucho.



A MIS HERMANOS

A ellos que me apoyaron y me preguntaron una y mil veces como me iba y cuando terminaba (o cuando empezaba). Todos ellos han hecho posible que me sienta razonablemente orgulloso de este trabajo.

A NUESTRA ASESORA

Ing. Margarita P. Reyes Quintero

En especial quiero darle las gracias por la confianza, paciencia y apoyo brindado en todo momento, por aquellas sugerencias desafiantes y acertadas que contribuyeron a darle mejor forma a este proyecto.

Con mi más sincero agradecimiento.

ATENTAMENTE

ING. CIVIL RICARDO MARQUEZ ORTIZ

“LA TECNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”



INDICE

Pág.

OBJETIVO

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 Aspectos Generales

1.1 Problemática del agua	15
1.2 Uso del agua en la industria	25
1.3 Características de los desechos industriales	27

CAPITULO 2 Normatividad y Parámetros de Calidad del Agua

2.1 Normatividad	29
2.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos Art. 27	29
2.1.2 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	30
2.1.3 Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento	33
2.1.4 Ley Federal de Derechos en Materia de Agua	35
2.1.5 Norma Oficial Mexicana 002	37
2.2 Parámetros y calidad del agua	43
2.2.1 Características del agua	43
2.1.1.1 Características físicas	43
2.2.1.1 Características químicas	47
2.2.1.3 Características biológicas	53
2.2.2 Necesidades del tratamiento de las aguas residuales industriales	57
2.2.3 Criterios de calidad del agua	57
2.2.4 Criterios ecológicos	65

CAPITULO 3 Tratamiento de las Aguas Residuales

3.1 Pretratamiento de la fuente	75
3.2 Tratamiento preliminar	75
3.2.1 Cribado	76
3.2.2 Desarenadores	80



3.3 Tratamiento primario	86
3.3.1 Homogenización	87
3.3.2 Neutralización	91
3.3.2.1 Métodos de neutralización	92
Lechos de piedra caliza	
Lechada de cal	
Sosa Cáustica	
3.3.3 Sedimentación	96
3.3.3.1 Tanque de sedimentación primaria	97
3.3.3.2 Diseño de sedimentadores	99
3.4 Tratamiento secundario	104
3.4.1 Tratamiento fisicoquímico	104
3.4.2 Precipitación química	105
3.4.3 Coagulación química	108
3.4.4 Mecanismos de coagulación	109
3.4.4.1 Reducción de cargas electrostáticas por adsorción de iones de carga contraria	
3.4.4.2 Puentes de inter-partículas por adsorción de grupos químicos específicos en cadenas de polímeros	
3.4.4.3 Adsorción de sólidos finamente divididos por medio de hidróxidos alcalinos en forma de gel.	
3.4.5 Tipos de coagulantes químicos y sus reacciones	110
3.4.5.1 Cal o hidróxido de calcio	111
3.4.5.2 Sulfato ferroso y cal	113
3.4.5.3 Cloruro férrico	114
3.4.5.4 Cloruro férrico y cal	114
3.4.5.5 Sulfato férrico y cal	114
3.4.6 Selección de coagulantes químicos	115
3.4.7 Floculación	117
3.4.7.1 Tipos de floculación	118
Floculación natural	
Floculación inducida	
3.4.7.2 Tipos de floculantes	120
Floculantes inorgánicos naturales	
Bentonita	
Sílice activada	
Floculantes sintéticos orgánicos	
3.4.8 Tratamiento biológico	122
3.4.8.1 Tratamiento anaerobio	123



3.5 Tratamiento terciario	125
3.5.1 Cloración	125
3.5.1.1 Efectos del cloro en los seres vivos	127
3.5.1.2 Efectos colaterales	128
3.5.1.3 Equipo	129
3.5.1.4 Control	130
3.5.1.5 Impurezas del cloro	131
3.5.2 Cloración de sistemas de distribución	132
3.5.2.1 Cloro residual en la red de distribución	132
CAPITULO 4 Estudios Básicos	
4.1 Datos de la empresa	133
4.2 Localización	133
4.3 Condiciones particulares	134
CAPITULO 5 Selección el Método de Tratamiento	
5.1 Necesidades del tratamiento	140
5.2 Estudios preliminares	141
5.3 Procesos de remoción	149
5.4 Selección del esquema de tratamiento	151
5.5 Características de las aguas industriales textiles	153
CAPITULO 6 Diseño de la planta de tratamiento	
6.1 Datos del proyecto	155
6.2 Pretratamiento	155
6.2.1 Rejilla manual	156
6.2.2 Desarenador	159
6.2.3 Vertedor	161
6.3 Tratamiento primario	163
6.2.1Sedimentador	163
6.4 Tratamiento secundario	168
6.4.1Coagulación	168
6.4.2Floculación	172
6.4.3Clorador	176



CONCLUSIONES	179
Tabla de comparación de parámetros	180
Plano arquitectónico de la planta de tratamiento	
ANEXOS	185
Álbum fotográfico de las Pruebas de laboratorio realizadas	
APENDICES	189
A. Propiedades físicas del agua a 1 atmósfera	
B. Propiedades físicas del agua	
C. Viscosidad del cloro líquido y gaseoso	
D. Presión de vapor del cloro líquido	
E. Densidad del cloro líquido	
F. Porcentaje de cloro líquido en el cilindro cargado hasta su límite autorizado	
G. Solubilidad del cloro en el agua	
BIBLIOGRAFIA	193



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el crecimiento acelerado de la industria textil se presenta un desafío a resolver, la pregunta que nos hacemos es saber si el agua utilizada en los diferentes procesos aplicados podrá volver a tener la calidad requerida después de un tratamiento, debido a que el proceso que se le da a la mezclilla utiliza grandes cantidades de agua que no son reutilizadas más aun aunado a eso no cumplen con la norma oficial mexicana NOM-001, NOM-002 y NOM-003 respectivamente.

La contaminación del agua ya es una realidad que crece con el tiempo cada vez más, pero así como se contamina nuestro deber es evitarla, de ahí que ahora en nuestra actualidad existen infinidad de opciones para darle el mejor uso.

Existen desde tratamientos muy simples hasta los más complejos y en nosotros queda el hacer conciencia y pensar que algún día el líquido vital llegara a hacernos falta y menos aun tenerlo como ahora, siendo este el punto de partida para solucionar ya este problema tan grave.



OBJETIVO

Cada día que pasa es mas el impacto de los desechos líquidos sobre cuerpos receptores, y la escasez cada vez más frecuente de agua, esto ha despertado un gran interés para atender el tratamiento de sus efluentes, siendo un objetivo encontrar la solución más factible de tratamiento para el agua residual generada en el proceso de la industria textil mexicana, teniendo en cuenta todos los factores que en ella intervienen y que de una u otra manera afectan directa o indirectamente a nuestro tratamiento.

OBJETIVO ESPECIFICO

Conocer de manera particular el proceso que con mayor frecuencia se realiza en la industria y elaborar con ello el tratamiento adecuado, de acuerdo a los parámetros que se presenten. Esto nos lleva a un tratamiento mucho más efectivo y viable que estará encaminado a dar los resultados necesarios para cumplir con los requisitos que exigen las Normas Oficiales Mexicanas (Especificando que solo será dentro de la NOM-002).



INTRODUCCIÓN

Esta tesis tiene como finalidad dar a conocer las alternativas de tratamiento para las aguas residuales industriales de origen textil y aplicarlas en un caso específico real.

En primera instancia se comentan los aspectos generales de la problemática del agua en nuestro país, el uso de agua en la industria y las características de los desechos industriales.

Así mismo, se comenta la legislación actual en materia de prevención y control de la contaminación del agua y la ley federal de derechos en materia de agua.

En forma general se presentan los principales parámetros de la contaminación y los métodos de muestreo para la caracterización de las aguas residuales. Los métodos de tratamiento existentes relacionados con la separación de los contaminantes del agua ya sea por medios físicos (rejillas, sedimentación) y químicos (coagulación).

Los tipos de tratamiento propuestos se enfocan inicialmente en la separación de los sólidos gruesos como basuras, arenas, y material de fácil sedimentación, posteriormente a la degradación de las substancias inorgánicas disueltas y la oxidación de los efluentes tratados respectivamente.

Un aspecto interesante en las plantas de tratamiento de agua residual es la estabilización y disposición final de los lodos generados en los diversos procesos de tratamiento, en los cuales se lleva a cabo la separación de los sólidos (sedimentables, disueltos, coloidales, etc) del agua, incluyéndose también los lodos activados cuando se emplea este proceso. Es importante el tratamiento de las aguas residuales, puesto que, si los lodos no son estabilizados adecuadamente, se convierten en un problema mayor, debido a que los contaminantes del agua residual original se encuentran concentrados, por lo tanto se estudia el mejor tratamiento y uso adecuado para su respectiva disposición final.



CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se presentan los aspectos más relevantes relacionados con la problemática del agua en México, la disponibilidad de este recurso, su calidad o grado de contaminación y las políticas en materia de control de la contaminación. También se comentan los principales usos del agua en la industria.

1.1. PROBLEMÁTICA DEL AGUA

El agua es reconocida como fuente de vida. Las teorías sostienen que el origen de la vida en nuestro planeta tuvo lugar en el mar, y también por ser las riberas de los cuerpos de agua naturales los sitios ideales para el asentamiento de poblaciones, dedicadas a la agricultura y la pesca; y actualmente sitios de desarrollo urbano e industrial¹.

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación.

Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden, aun más con la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor. Bajo este panorama, México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua².

Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros.

No obstante existen diferencias territoriales importantes que son desfavorables.

En el norte del territorio nacional, el agua de lluvia que se capta por escurrimiento es únicamente el 4% mientras que en el sureste y las zonas costeras se logra captar el 50% del escurrimiento¹.



Así, entre otros beneficios de la infraestructura hidráulica se encuentra la protección a la población y las áreas productivas de situaciones como las inundaciones, además de aprovechar las zonas con alto promedio de escurrimientos para la generación de servicios como la energía eléctrica. La zona norte del país está constituida por regiones áridas y las presas tienen la función de captar el agua que se utilizará en la actividad agrícola. En la zona sur del país, donde se localizan las regiones húmedas, las presas tienen como función almacenar el agua para la generación de la energía eléctrica y el control de avenidas.

Hasta 1990 aún no se tenía una evaluación definitiva de la disponibilidad de aguas subterráneas, ni de su grado de contaminación. Los estudios geohidrológicos detallados reportan que cubren aproximadamente el 25% de la superficie total del país. De esta información, además de algunas evaluaciones regionales, puede inferirse que el volumen de agua subterránea renovable es del orden de 31 mil millones de metros cúbicos anuales, que corresponde a la estimación de la recarga anual de los acuíferos.

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

El país se divide en 320 cuencas hidrológicas agrupadas en 14 regiones. Su precipitación pluvial no se distribuye uniformemente en todo el territorio. En la zona norte del país sólo se tiene un escurrimiento del 4% del total en un área equivalente al 30% del territorio; en el sureste se cuenta con el 50% de la disponibilidad total del agua en una superficie no mayor al 20% del país.

Sólo la región central presenta equilibrio entre el promedio de escurrimiento y la extensión territorial, teniendo una disponibilidad de 47%, en 50% de territorio.

Pero aún en esta zona se ha tenido que recurrir al trasvase de cuencas para satisfacer la demanda de áreas como la Zona Metropolitana del Valle de México, con todas las consecuencias que ello implica.

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

El suministro de agua a los centros urbanos representa grandes erogaciones, ya que en tanto la demanda se concentra en regiones situadas por encima de los 500 msnm, la mayoría de las cuencas susceptibles de servir como fuente de abastecimiento se ubican por abajo de esa cota. Estas condiciones han obligado a construir sistemas de captación y de conducción con inversiones muy costosas¹.



No hay duda de que las características naturales del territorio se han visto afectadas por el proceso de urbanización e industrialización que ha vivido el país. Lo muestra el hecho de que los principales focos de contaminación, y de deterioro de los ecosistemas, se localizan en las más importantes ciudades y puertos industriales o tienen su origen en ellos, afectando las cuencas hidrológicas y los diversos ecosistemas. Debido a estas tendencias, se observan ya insuficiencias críticas de agua limpia en algunas regiones, en consecuencia, su obtención tendrá un costo cada vez más elevado.

En las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara se generan 46, 8.5 Y 8.2 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, respectivamente. En conjunto equivalen al 34% del total a nivel nacional estimado en 184 metros cúbicos por segundo; de éstos, 105 corresponden a descargas municipales y 79 a descargas industriales².

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

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

El sector industrial, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación de agua, se ha configurado en 39 grupos, de los cuales 15 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos entre otras. Estos 15 grupos en conjunto arrojan el 68.56% del total de aguas residuales de origen industrial. Destacan la industria azucarera y la química, con el 49.24% del total. Ver tabla 1.1³

Son 31 las cuencas que reciben el 91 % de la materia orgánica de las aguas residuales generadas en el país. El nivel de importancia de las cuencas se determinó de acuerdo a la superficie, el volumen de escurrimiento medio anual, el área bajo riego, el valor económico, la población aledaña, los municipios circundantes y las descargas de aguas residuales. De las cuencas más severamente deterioradas, cinco merecen una atención especial, en virtud de los grandes centros de desarrollo asentados en sus alrededores; ellas son: Lerma-Santiago, Pánuco, Balsas, San Juan y Blanco¹.



VOLUMEN DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y MUNICIPAL, 1998

Origen de la descarga	Volumen descargado	
	m ³ /día	m ³ /seg
Industria		
Azúcar	5 601 013	64.83
Química	1 159 779	13.42
Petrolera	539 189	6.24
Hierro y Acero	392 282	4.54
Celulosa y Papel	389 330	4.51
Textil	251 534	2.91
Beneficio de Café	132 864	1.54
Cerveza y Malta	117 806	1.36
Alimenticia	107 038	1.24
Agropecuaria	59 707	0.69
Acabados de Metales	43 290	0.50
Curtiduría	3 118	0.04
Vitivinícola	2 446	0.03
Servicios	237 835	2.75
Otros Giros	3 959 575	45.83
Industrias que generan menos de 100 m ³ /día	781 834	9.05
Subtotal	13 778 640	159.48
Localidades		
Más de 50 000 habitantes	11 608 800	134.36
Más de 10 000 a 50 000 habitantes	2 067 200	23.93
Hasta 10 000 habitantes	1 012 000	11.71
Subtotal	14 688 000	170.00
Total	28 466 640	329.48

Tabla 1.1 Volumen de descarga de aguas residuales industrial y municipal, 1998

3 Fuente: Semarnap, Comisión Nacional del Agua, 1998

Responsable: Dirección de Estadística e Indicadores Ambientales.

Área: Dirección General de Estadística e Información Ambiental

Correo: contactodgeia@semarnat.gob.mx

Actualización: Mayo de 2002



Los puertos industriales y turísticos y las zonas costeras del país constituyen también zonas con alto nivel de contaminación del agua, al verse afectadas por el vertido de aguas residuales municipales e industriales sin tratamiento ni control adecuado. A esto se agrega la carencia o manejo inapropiado de los sistemas de recolección y disposición de los residuos sólidos; Acapulco, Coatzacoalcos, Ensenada, Salina Cruz, Lázaro Cárdenas y Villahermosa, entre otros, requieren de particular atención para frenar y revertir el nivel de contaminación de sus aguas costeras.

La SEMARNAP reportó en 1998, con forme a la tabla 1.2, 1.3 y 1.4 las estadísticas referentes a plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, y de origen industrial, De lo anterior se deriva que, de la descarga total de aguas residuales municipales, sólo se trata el 15. 7%, del cual aproximadamente la mitad se reutiliza y de las aguas residuales industriales, únicamente se trata el 15.5%. Cabe aclarar que estas cifras son estimadas según la capacidad instalada y que no todos los sistemas de tratamiento están en operación.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIAL Y MUNICIPAL: NÚMERO DE PLANTAS Y CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DISEÑADA, 1991-1998				
Año	Número		Capacidad de diseño (m ³ /segundo)	
	Industriales	Municipales	Industriales	Municipales
1991	630	361	10.625	25.100
1994	1 151	666	21.520	42.788
1995	nd	680	nd	54.638
1996	1 255	793	22.725	54.765
1997	1 255	821	22.725	61.653
1998	1 354	914	29.322	63.151

nd: No disponible

Tabla 1.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales

3 Fuente: Semarnap, Comisión Nacional del Agua, 1999.

Comisión Nacional del Agua, **Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento**, México, años 1994, 1996, 1997, 1998.



Entidad federativa	VOLUMEN TRATADO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO EN OPERACIÓN DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL SEGÚN PROCESO DE TRATAMIENTO POR ENTIDAD FEDERATIVA, 1998 (Litros/segundo)										
	AN	BD	BI	DA	DU	FB	LA	LB	LE	PA	
Aguascalientes	0	0	0	0	1 680	0	180	0	167	0	
Baja California	0	0	0	0	0	124	297	0	2 316	1 100	
Baja California Sur	0	0	0	0	0	0	475	0	132	0	
Campeche	8	0	10	0	0	0	20	0	0	0	
Coahuila	0	0	42	0	0	0	300	0	346	0	
Colima	0	0	0	0	3	290	11	0	107	0	
Chiapas	0	0	0	0	0	0	0	0	86	0	
Chihuahua	0	0	0	0	0	0	515	0	190	0	
Distrito Federal	0	0	0	0	0	0	2 485	0	0	0	
Durango	0	0	0	0	0	0	0	0	2 025	0	
Guanajuato	0	0	6	0	0	0	267	0	609	10	
Guerrero	0	0	0	0	0	0	685	0	0	850	
Hidalgo	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Jalisco	0	0	9	0	0	215	453	0	328	0	
México	0	0	25	0	950	0	1 430	0	620	0	
Michoacán	0	0	0	0	0	0	5	12	425	0	
Morelos	1	366	0	0	0	300	27	0	3	0	
Nayarit	0	0	72	0	0	0	140	0	237	0	
Nuevo León	0	0	0	0	0	0	6 080	0	260	0	
Oaxaca	0	6	29	0	0	75	141	0	42	0	
Puebla	7	80	0	0	0	240	0	0	25	0	
Querétaro	0	0	0	0	0	128	70	0	0	0	
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	969	250	0	0	
San Luis Potosí	0	0	0	0	0	0	60	0	205	0	
Sinaloa	0	0	0	0	0	0	60	0	289	0	
Sonora	0	0	0	0	0	0	0	1 081	1 425	0	
Tabasco	0	0	0	0	0	75	60	0	709	0	
Tamaulipas	0	0	1	0	0	0	851	0	1 061	0	
Tlaxcala	0	0	0	0	30	111	0	35	305	0	
Veracruz	0	0	1	2	0	1 212	256	0	217	0	
Yucatán	0	0	0	320	0	0	0	0	0	0	
Zacatecas	0	72	0	0	0	0	11	0	94	0	
Nacional	18	524	194	322	2 663	2 771	15 847	1 378	12 223	1 960	

Tabla 1.3 Primera parte

Volumen tratado en plantas de tratamiento en operación de agua residual municipal según proceso de tratamiento por entidad federativa

3 Fuente: Semarnap, Comisión Nacional del Agua, 1999

Responsable: Dirección de Estadística e Indicadores Ambientales.

Área: Dirección General de Estadística e Información Ambiental

Correo: contactodgeia@semarnat.gob.mx

Actualización: Mayo de 2002



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD ZACATENCO

INGENIERIA CIVIL



**VOLUMEN TRATADO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO EN OPERACIÓN DE AGUA RESIDUAL
 MUNICIPAL SEGÚN PROCESO DE TRATAMIENTO POR ENTIDAD FEDERATIVA, 1998**

(Litros/segundo)	PR	RA	RE	TI	TS	WE	ZO	NE	Total
Aguascalientes	0	0	2	0	0	0	0	0	2 029
Baja California	0	0	0	0	0	0	55	0	3 892
Baja California Sur	0	0	0	0	0	0	0	25	632
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0	37
Coahuila	0	0	0	0	0	0	0	0	688
Colima	0	0	0	0	0	0	0	3	414
Chiapas	0	0	0	0	0	0	0	0	86
Chihuahua	0	0	0	0	0	0	40	0	745
Distrito Federal	0	0	0	0	0	0	0	0	2 485
Durango	0	0	0	0	0	0	0	0	2 025
Guanajuato	0	0	0	0	0	0	0	0	892
Guerrero	0	0	0	0	0	0	0	0	1 535
Hidalgo	0	0	1	4	0	8	0	0	15
Jalisco	25	0	0	175	0	0	542	0	1 748
México	0	0	0	0	0	0	97	50	3 172
Michoacán	180	24	0	0	0	0	12	0	658
Morelos	0	2	0	26	0	0	0	0	725
Nayarit	550	0	0	0	0	0	0	0	998
Nuevo León	0	4	0	7	0	0	0	0	6 351
Oaxaca	0	0	0	0	0	7	0	0	300
Puebla	6	0	0	0	0	0	0	0	358
Querétaro	0	27	5	0	0	0	8	0	237
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0	1 219
San Luis Potosí	0	0	0	0	0	0	0	0	265
Sinaloa	831	0	0	0	0	0	0	0	1 180
Sonora	0	0	0	0	0	0	0	0	2 506
Tabasco	0	0	0	77	0	0	13	0	933
Tamaulipas	0	0	0	4	0	0	0	0	1 917
Tlaxcala	0	0	0	0	0	14	0	0	494
Veracruz	1	80	0	52	0	0	0	0	1 821
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0	320
Zacatecas	0	0	0	0	0	0	0	0	177
Nacional	1 593	137	8	345	0	29	767	78	40 855

AN: Anaerobio

LA: Lodos activados

RE: Reactor enzimático

BD: Biodiscos

LB: Lagunas de aireación

TI: Tanque Imhoff

BI: Biológico

LE: Lagunas de estabilización

TS: Tanque séptico

DA: Digestor anaerobio

PA: Primario avanzado

WE: Wetland

DU: Dual

PR: Primario

ZO: Zanjas de oxidación

FB: Filtros biológicos

RA: Rafa

NE: No especificado, pero se trata de alguno de los tratamientos que aquí se reporta.

Tabla 1.3 Segunda parte
Volumen tratado en plantas de tratamiento en operación de agua residual
Municipal según proceso de tratamiento por entidad federativa



**PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL: NÚMERO DE PLANTAS
Y GASTO¹ POR ENTIDAD FEDERATIVA, 1998**

Entidad federativa	Número de plantas	Gasto de diseño (litros/segundo)	Gasto de operación (litros/segundo)
Aguascalientes	21	144.30	49.87
Baja California	221	878.66	878.66
Baja California Sur	10	191.17	191.17
Campeche	31	53.22	11.55
Coahuila	41	703.55	621.68
Colima	21	507.00	278.50
Chiapas	14	704.93	704.93
Chihuahua	21	786.01	472.54
Distrito Federal	6	193.15	119.15
Durango	17	401.01	236.00
Guanajuato	68	645.00	302.76
Guerrero	23	136.33	63.40
Hidalgo	42	1 603.20	998.45
Jalisco	54	371.07	371.07
México	72	533.52	533.52
Michoacán	27	1 816.50	1 076.48
Morelos	67	627.21	627.21
Nayarit	4	162.95	162.95
Nuevo León	22	3 304.70	2 400.46
Oaxaca	10	666.95	660.95
Puebla	106	608.67	384.40
Querétaro	84	960.18	440.98
Quintana Roo	2	10.50	5.00
San Luis Potosí	37	779.41	636.49
Sinaloa	21	385.00	381.00
Sonora	14	102.19	102.19
Tabasco	15	190.96	112.02
Tamaulipas	36	1 189.53	1 030.05
Tlaxcala	70	160.39	160.39
Veracruz	104	7 840.15	7 807.15
Yucatán	65	2 506.60	83.96
Zacatecas	8	157.80	46.56
Nacional	1 354	29 321.81	21 951.48

¹ Volumen por unidad de tiempo: litros por segundo.

**Tabla 1.3 Conclusión
Plantas de tratamiento de agua residual industrial: Número de plantas
y gasto por entidad federativa, 1998**

3 Fuente: Comisión Nacional del Agua, **Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento, a diciembre de 1998**, México, 1999



En algunas de las instalaciones para tratamiento de aguas residuales municipales, se detectan deficiencias importantes como son: diseño inadecuado, ubicación desfavorable por condiciones topográficas o por la localización de las redes de alcantarillado; obras inconclusas tanto en la red de atarjeas como en instalaciones de bombeo, en equipo electromecánico en instalaciones de seguridad; desaparición de equipo o carencias de instalaciones eléctricas. La falta de recursos no ha permitido ampliar la cobertura del servicio de alcantarillado, ni mejorar los sistemas de tratamiento.

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

Se tienen ya normas técnicas para las descargas de aguas residuales y se cuenta con la facultad de otorgar o negar permisos para el vertimiento, en base a la calidad del agua que se pretende alcanzar en el cuerpo receptor¹.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD ZACATENCO



INGENIERIA CIVIL

Entidad federativa	Cumple con condiciones particulares de descarga					
	Si		No		Total	
	Número	Gasto ² (litros/segundo)	Número	Gasto ² (litros/segundo)	Número	Gasto ² (litros/ seg)
Aguascalientes	7	8.16	14	41.71	21	49.87
Baja California	1	6.65	220	872.01	221	878.66
Baja California Sur	8	189.14	2	2.03	10	191.17
Campeche	31	11.55	0	0.00	31	11.55
Coahuila	27	159.77	14	461.91	41	621.68
Colima	17	201.50	4	77.00	21	278.50
Chiapas	7	152.77	7	552.17	14	704.94
Chihuahua	7	237.22	14	235.32	21	472.54
Distrito Federal	1	10.00	5	109.15	6	119.15
Durango	3	20.45	14	215.55	17	236.00
Guanajuato	12	12.79	56	289.97	68	302.76
Guerrero	23	63.40	0	0.00	23	63.40
Hidalgo	12	342.75	30	655.70	42	998.45
Jalisco	51	358.62	3	12.45	54	371.07
México	23	127.45	49	406.07	72	533.52
Michoacán	6	525.00	21	551.48	27	1 076.48
Morelos	22	81.03	39	546.18	61 ³	627.21
Nayarit	0	0.00	4	162.95	4	162.95
Nuevo León	0	0.00	22	2 400.46	22	2 400.46
Oaxaca	5	155.00	5	505.95	10	660.95
Puebla	28	181.94	78	202.45	106	384.39
Querétaro	23	61.30	61	379.68	84	440.98
Quintana Roo	0	0.00	2	5.00	2	5.00
San Luis Potosí	5	372.38	32	264.10	37	636.49
Sinaloa	0	0.00	21	381.00	21	381.00
Sonora	7	27.69	7	74.50	14	102.19
Tabasco	5	0.32	10	111.69	15	112.01
Tamaulipas	36	1 030.05	0	0.00	36	1 030.05
Tlaxcala	63	158.68	7	1.71	70	160.39
Veracruz	32	2 798.59	72	5 008.56	104	7 807.15
Yucatán	0	0.00	65	83.96	65	83.96
Zacatecas	6	4.53	2	42.03	8	46.56
Nacional	468	7 298.74	880	14 652.74	1 348	21 951.48

¹CPD: Condiciones Particulares de Descarga. Se refieren a los niveles permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. Información sujeta a revisión conforme a la NOM-001-ECOL.

² Se refiere al Gasto de Operación, es decir, al volumen tratado por unidad de tiempo: litros por segundo.

³ La fuente reporta una diferencia de 6 plantas en relación a lo que se presenta en los cuadros 1.2 y 1.3.

Tabla 1.4

Plantas de tratamiento de agua residual industrial por entidad Federativa: cumplimiento de cpd¹, 1998

3 Fuente: Comisión Nacional del Agua, **Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, a Diciembre de 1998**, México, 1999.



Las políticas de financiamiento que se aplicarán en las acciones del Programa Para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua son entre otras:

- a) Responsabilizar a los causantes del deterioro natural y la contaminación, de los costos que implique la prevención y solución de los impactos negativos en el entorno.
- b) Complementar las erogaciones públicas con las aportaciones financieras de los grupos beneficiados.

Para atender las restantes cuencas con mayor contaminación, se estudiarán las fuentes contaminantes de índole municipal e industrial, para determinar las medidas pertinentes. Se corresponibilizará a los gobiernos locales y a los sectores social y privado, para revertir los niveles de contaminación.

El sector privado y las empresas paraestatales, según su nivel de responsabilidad en los procesos de contaminación, deberán absorber los costos de las obras y de las acciones que deban realizarse para restablecer la calidad del agua.

1.2. USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA¹

El uso del agua que la industria demanda puede clasificarse en cuatro principales actividades que se llevan a cabo en la mayoría de las industrias: a) agua para enfriamiento, b) para calderas, c) para procesos, y d) para servicios generales.

Del total de agua que la industria consume se estima que el 58% corresponde al agua empleada para enfriamiento, 32% a proceso, el 6.5% se utiliza en calderas y un 3.5% para servicios generales.

a) Agua para enfriamiento

La industria demanda grandes volúmenes de agua para enfriamiento en diversos procesos, como puede ser el enfriamiento de condensadores de plantas generadoras de energía, refinamiento del petróleo, plantas químicas, destilerías y otras; también se usa para enfriamiento en máquinas de combustión interna y plantas de bombeo, y enfriamiento en plantas de fundición.

El agua para la industria debe cumplir con normas de calidad específicas de acuerdo a los usos y al tipo de industria. Los problemas que se pueden presentar en un sistema de enfriamiento debido a la mala calidad del agua empleada son: formación de depósitos e incrustación, corrosión, obstrucción de los sistemas de distribución, crecimiento de organismos y por supuesto, un incremento en los costos de mantenimiento y operación.



b) Agua para calderas

El agua que se utiliza para calderas permite la generación de vapor o energía. En general, la calidad del agua debe ser tal que no deposite sustancias incrustantes, no corroa al metal de las calderas o de las líneas de conducción y no ocasione espumas. Un agua de tales características es difícil de encontrar en estado natural, por lo que las condiciones de calidad se logran mediante tratamiento.

c) Agua para proceso

Es el agua que se incorpora en la manufactura del producto, o que pasa a formar parte del producto terminado, o el agua empleada como medio de transporte de los productos.

La calidad del agua requerida para el proceso varía ampliamente de un sector industrial a otro, así se tiene por ejemplo que, el agua requerida en la manufactura de alimentos debe ser de calidad comparable a la del agua potable, el agua empleada para la fabricación de celulosa Kraft sin blanquear, puede ser de calidad comparable a la de un efluente secundario con cloración. Para cada caso en particular los procesos industriales demandan agua definida en normas específicas.

d) Agua para servicios generales

En este uso del agua se incluye la limpieza de las instalaciones, servicios sanitarios, usos personales y en ocasiones riego de áreas verdes. El agua para servicios requiere de cierta calidad, sobre todo cuando ésta se emplea para usos sanitarios y personales, la calidad debe ser potable.

Como ejemplo, en la Tabla 1.5 se muestran cinco de los principales sectores industriales consumidores de agua con una estimación de los porcentajes empleados en cada actividad.

Los contaminantes más comunes de las descargas industriales en general proceden de las siguientes fuentes.

- Agentes químicos de acondicionamiento de agua para enfriamiento.
- Purgas de lodos acumulados en torres de enfriamiento.
- Lavado de materias primas.
- Procesos de transporte con residuos de producto terminado.
- Compuestos químicos usados en el lavado de equipo.
- Sustancias químicas empleadas como, materia prima y reactivos.
- Desechos de materia orgánica generados durante el proceso de industrialización.
- Desechos ácidos y alcalinos generados en prácticas auxiliares del proceso industrial, como la regeneración de intercambiadores iónicos, lavado de filtros, limpieza del equipo, etc.
- Metales pesados que se generan en algunos procesos de transformación.



Cada industria, en particular, genera descargas características de acuerdo a los procesos específicos de transformación de la materia prima.

Son dos las circunstancias que obligan a una industria a dar tratamiento al agua:

- a) Para lograr la calidad deseada en el abastecimiento para la propia industria.
- b) Para cumplir con las condiciones particulares en sus descargas.

<i>Sector industrial</i>	<i>Enfriamiento</i>	<i>Proceso</i>	<i>Calderas</i>	<i>Otros</i>
Industria Alimenticia*	51.1	40.4	4.0	4.5
Química	76.5	17.5	2.3	3.7
Hierro v Acero	85.2	7.1	1.0	6.7
Celulosa v Papel	34.3	62.9	1.8	1.0
Petróleo	90.2	3.7	4.8	1.3

Tabla 1.5 Porcentaje del agua empleada en cada actividad

* incluye a la industria azucarera

4 Fuente estudios del agua en la industria SARH 1976

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DESECHOS INDUSTRIALES

Las diferentes industrias generan contaminantes en función de los procesos productivos que utilizan en la elaboración de sus productos. Por tanto para definir los tipos de contaminantes que se generan es necesario considerar cada, industria en particular y en ocasiones cada planta de la rama industrial. Algunos factores que influyen en la diversidad de las aguas residuales para diferentes plantas de un mismo giro son: la tecnología del proceso, el uso eficiente o no del agua en la industria, las materias primas empleadas y el manejo de las descargas de aguas residuales.

A manera de ejemplo se presentan en la Tabla 1.6 los valores característicos de contaminantes que se esperan en las aguas residuales de cinco industrias, en esos trabajos se puede ver la complejidad para evaluar el grado de contaminación de las aguas residuales en las industrias, giro industrial y la necesidad de establecer índices para estimar el consumo de agua y de generación de aguas residuales por unidad de producto terminado, o bien por unidad de materia prima transformada¹.



PARÁMETROS		INDUSTRIAS				
	Alimenticia	Textil	Curtido		Química	Acabado de metales
			(cromo)	(taninos)		
pH	4-7	1-12	5-8	11	3.6-7.9	5-10
Temp. °C	17	30-32	22	22	2.8-31.5	
St	1000	40	65		1028-21249	
Sst		111-670	1034	833		
S Sed m/l/l	1009	0.9-1.9		118	6.3-12.9	
G y A	1000	3.5-79.3	39	200	17-167	56
DBO	3000	500-2300	1452	3573	207-562	
DQO	5000	715-13905	1558	4167	192-1615	
SAAM		4-42				
NT		6-73	29	53	11-134	
PO4T					16-436	
CN						300
Cu		1.3-5.0				56
Fe		5.6				
Cr ⁺³		0.3				
Cr ⁺⁶		26				
Ni						200
Zn						22
Taninos						557
Flujo de agua				360		
Residual m ³ /d	525	679-997	150	150		

Tabla 1.6 Valores característicos de descargas industriales⁴

Notas: Las unidades en mg/lt

BIBLIOGRAFIA

1. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, México 1991
2. Consulta pagina de Internet <http://www.monografias.com/trabajos/contagua/contmagua.shtml>
3. Consulta pagina de Internet SEMARNAT, COMISION NACIONAL DEL AGUA 1998, Dirección de Estadística e indicadores ambientales, contactodgeia@semarnat.gob.mx
4. Estudios del uso del agua en la industria, SARH 1976



CAPITULO 2 NORMATIVIDAD Y PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

2.1 NORMATIVIDAD

La utilización del agua crea derechos y obligaciones entre los usuarios, y por lo tanto, es necesario establecer normas jurídicas que regulen unos y otras para de esta manera, hacer racional el uso del agua y evitar conflictos en lo posible, considerando que el agua es un recurso natural de usos múltiples.

2.1.1 La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Promulgada en 1917 y vigente a la fecha, establece la propiedad nacional de las aguas y su control por el Gobierno Federal. En el **Artículo 27** previene: "la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada"¹.

En dicha legislación se habla sobre la propiedad y no sobre la calidad del agua, sin embargo, el tema del agua es de tal interés que motivó a que se expidieran leyes como las que se citan a continuación:

Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente

Esta ley abroga a su antecesora la Ley Federal de Protección al Ambiente. Fue reformada y publicada en el Diario Oficial de la Federación en febrero del 2005 y reglamenta las disposiciones constitucionales relativas a la preservación y restauración del equilibrio ecológico². Establecidas en el párrafo tercero del artículo 27 constitucional.

Este cuerpo normativo es en sí un conjunto de normas jurídicas que contienen criterios ambientalistas de carácter global que regulan la conservación y mejoramiento del ambiente como un todo.

Las disposiciones que contiene esta ley tienen la característica de ser de orden público social y rigen en el territorio nacional y en las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

La Ley General tiene por objeto, entre otros, establecer las bases para:

- Definir los principios de la política ecológica general.
- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.
- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua, suelo y
- La concurrencia en la materia del Gobierno Federal, los Estatales y Municipales.



Ley de aguas nacionales

Es de interés hacer notar que en la Ley Aguas Nacionales se toca de manera específica el problema de la calidad de las aguas, al declarar de utilidad pública las obras hidráulicas destinadas a preservar y mejorar las condiciones ecológicas. la prevención y control de la contaminación de las aguas cualquiera que sea su régimen; prevenir que se puedan suspender los aprovechamientos, obras y actividades que dañen los recursos hidráulicos o el equilibrio ecológico; regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales y las condiciones en que hayan de descargarse; fijar el orden de relación para los usos del agua; establecer que en los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, se podrán restringir y aún suspender otras explotaciones y proyectos y por otra parte, que se sancionará a quienes, sin autorización, arrojen en los cauces y vasos de propiedad nacional, aguas residuales industriales.

Legislación para el control de la contaminación

2.1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente².

ARTÍCULO 96.- La Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas para la protección de los ecosistemas acuáticos y promoverá la concertación de acciones de preservación y restauración de los ecosistemas acuáticos con los sectores productivos y las comunidades.

ARTÍCULO 117.- Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

III.- El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

ARTÍCULO 118.- Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

I.- La expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.

II.- La formulación de las normas oficiales mexicanas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano, así como para la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos receptores considerados aguas nacionales.



ARTÍCULO 119.- La Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que se requieran para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales, conforme a lo dispuesto en esta Ley, en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y las demás disposiciones que resulten aplicables.

ARTÍCULO 119 BIS.- En materia de prevención y control de la contaminación del agua, corresponde a los gobiernos de los Estados y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua, así como al del Distrito Federal, de conformidad con la distribución de competencias establecida en esta Ley y conforme lo dispongan sus leyes locales en la materia:

- I.- El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado.
- II.- La vigilancia de las normas oficiales mexicanas correspondientes, así como requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no cumplan con éstas, la instalación de sistemas de tratamiento.
- III.- Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva, pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar.

ARTÍCULO 120.- Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

I.- Las descargas de origen industrial.

ARTÍCULO 121.- No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

ARTÍCULO 122.- Las aguas residuales provenientes de usos públicos urbanos y las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltrén en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- I.- Contaminación de los cuerpos receptores.
- II.- Interferencias en los procesos de depuración de las aguas.
- III.- Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.



ARTÍCULO 126.- Los equipos de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades estatales, o el Distrito Federal, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan.

ARTÍCULO 171.- Las violaciones a los preceptos de esta Ley, sus reglamentos y las disposiciones que de ella emanen serán sancionados administrativamente por la Secretaría, con una o más de las siguientes sanciones:

I.- Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción;

II.- Clausura temporal o definitiva, total o parcial, cuando:

a) El infractor no hubiere cumplido en los plazos y condiciones impuestos por la autoridad, con las medidas correctivas o de urgente aplicación ordenadas.

b) En casos de reincidencia cuando las infracciones generen efectos negativos al ambiente.

c) Se trate de desobediencia reiterada, en tres o más ocasiones, al cumplimiento de alguna o algunas medidas correctivas o de urgente aplicación impuestas por la autoridad.

III.- Arresto administrativo hasta por treinta y seis horas.

V.- La suspensión o revocación de las concesiones, licencias, permisos o autorizaciones correspondientes.

Si una vez vencido el plazo concedido por la autoridad para subsanar la o las infracciones que se hubieren cometido, resultare que dicha infracción o infracciones aún subsisten, podrán imponerse multas por cada día que transcurra sin obedecer el mandato, sin que el total de las multas exceda del monto máximo permitido, conforme a la fracción I de este artículo.

ARTÍCULO 173.- Para la imposición de las sanciones por infracciones a esta Ley, se tomará en cuenta:

I.- La gravedad de la infracción, considerando principalmente los siguientes criterios: impacto en la salud pública; generación de desequilibrios ecológicos; la afectación de recursos naturales o de la biodiversidad; y, en su caso, los niveles en que se hubieran rebasado los límites establecidos en la norma oficial mexicana aplicable.

II.- Las condiciones económicas del infractor.

III.- La reincidencia, si la hubiere.

IV.- El carácter intencional o negligente de la acción u omisión constitutiva de la infracción, y

V.- El beneficio directamente obtenido por el infractor por los actos que motiven la sanción.



En el caso en que el infractor realice las medidas correctivas o de urgente aplicación o subsane las irregularidades en que hubiere incurrido, previamente a que la Secretaría imponga una sanción, dicha autoridad deberá considerar tal situación como atenuante de la infracción cometida.

La autoridad correspondiente podrá otorgar al infractor, la opción para pagar la multa o realizar inversiones equivalentes en la adquisición e instalación de equipo para evitar contaminación o en la protección, preservación o restauración del ambiente y los recursos naturales, siempre y cuando se garanticen las obligaciones del infractor, no se trate de alguno de los supuestos previstos en el artículo 170 de esta Ley y la autoridad justifique plenamente su decisión.

2.1.3 Ley de Aguas Nacionales y su reglamento

Ley Aguas Nacionales. Esta ley grupa en un sólo ordenamiento jurídico la legislación que en materia de aguas se encontraba dispersa; así mismo, la ley concuerda con la nueva legislación en materia agraria, sanitaria de contaminación y en general, con todos los ordenamientos que se relacionan con los usos de las aguas nacionales⁴.

ARTÍCULO 87. “La Autoridad del Agua” determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las descargas de contaminantes que estos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de declaratorias de clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las cuales se publicaran en el diario oficial de la federación, lo mismo que sus modificaciones, para su observancia.

Las declaratorias contendrán:

- I. La delimitación del cuerpo de agua clasificado;
- II. Los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los periodos previstos en el reglamento de esta ley.
- III. La capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes.
- IV. Los contaminantes máximos de descarga de los contaminantes analizados, base para fijar las condiciones particulares de descarga.

ARTÍCULO 88. Las personas físicas o morales requieren permiso de descarga expedido por la “Autoridad el agua” para vertir en forma permanente o intermitente aguas residuales en cuerpos receptores que sean de aguas nacionales o demás bienes nacionales o en terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.



El control de las descargas de las aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

ARTÍCULO 92. “La autoridad del agua” ordenara la suspensión de las actividades que den origen a las descargas residuales, cuando:

- I. **No se cuente con el permiso de descarga de las aguas residuales en términos de esta ley.**
- II. **La calidad de las descargas no se sujete a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta ley y sus reglamentos.**
- III. **Se omita el pago del derecho por el uso o aprovechamiento de bienes nacionales como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales durante más de un año fiscal.**
- IV. **El responsable de la descarga, contraviniendo los términos de la ley, utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga.**
- V. Cuando no se presente cada dos años un informe que contenga los análisis e indicadores de la calidad del agua que descarga

La suspensión será sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que se hubiera podido incurrir.

Cuando exista riesgo de daño o peligro para la población o los ecosistemas, “la Autoridad del Agua” a solicitud de autoridad competente podrá realizar las acciones y obras necesarias para evitarlo, con cargo a quien resulte responsable.

ARTÍCULO 95. “La Autoridad del Agua” en el ámbito de la competencia federal, realizara la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la ley. Los resultados de dicha fiscalización o inspección se hará constar en acta circunstanciada, producirán todos los efectos legales y podrán servir de base para que “La Comisión” y las dependencias de la Administración Pública Federal competentes, puedan aplicar las sanciones respectivas previstas en la ley.

ARTÍCULO 119. “La Autoridad del Agua” sancionará conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas:

- I. Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando infiltrén en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o al acuífero.



ARTÍCULO 120. Las faltas a que se refiere el artículo anterior serán sancionadas administrativamente por la “La Autoridad del Agua” con multas que serán equivalentes a los siguientes días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento en que se cometa la infracción, independientemente de las sanciones estipuladas en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley de Bienes Nacionales y La ley Federal de Metrología y Normalización y sus Reglamentos, Las Normas Oficiales Mexicanas, el Código Penal Federal y demás disposiciones aplicables en la materia:

- I. 1,501 a 5,000 en el caso de violaciones a las fracciones X
- II. 5,001 a 20,000 en el caso de violación a las fracciones I, II, XI, XII

Las multas que imponga “La Autoridad del Agua” se deberán cubrir dentro de los plazos que dispone la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.

ARTÍCULO 121. Para sancionar las faltas a que se refiere este capítulo, las infracciones se calificarán conforme a:

- I. La gravedad de la falta.
- II. Las condiciones económicas del infractor.
- III. La premeditación.
- IV. La reincidencia.

2.1.4. Ley federal de derechos en materia de agua

La Ley Federal de Derechos en Materia de Agua se publicó en el mes de julio de 1991, para entrar en vigor el 1º de octubre del mismo año. En resumen esta Ley establece las disposiciones generales para el pago de derechos por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la Nación, así como por recibir servicios que presta el Estado en sus funciones de derecho público, excepto cuando se presten por organismos descentralizados. También son derechos las contribuciones a cargo de los organismos públicos descentralizados por prestar servicios exclusivos del Estado³.

- Establece las cuotas por los servicios de trámite y expedición de asignaciones, concesiones, autorizaciones o permisos para usar o aprovechar aguas nacionales, o para descarga de aguas residuales.
- Establece las cuotas por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales (agua de abastecimiento), de conformidad con la división territorial que para el caso se determina en el artículo 231 de dicha ley. La división territorial determina cuatro zonas de disponibilidad. Las cuotas se establecen tomando en cuenta el uso a que se destina el recurso.



- Se establecen cuotas por el uso o goce de inmuebles como son: la zona federal marítimo-terrestre, los diques, cauces, vasos, zonas de corrientes, depósitos de propiedad nacional y otros inmuebles del dominio público.

Pago de derechos. Las cuotas por el pago de derecho por uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales se establecen en base a los siguientes parámetros:

- a) Por m³ de agua residual descargado.
- b) Por Kg de demanda química de oxígeno en la descarga.
- c) Por Kg de sólidos suspendidos totales en la descarga.

Las cuotas que se fijan son diferentes para cada zona, por ejemplo, para la zona 1 en la que se encuentra el Distrito Federal se tiene:

Por m ³ de agua descargada	\$400.00
Por Kg de DQO.	\$2600.00
Por Kg de SST.	\$460.00

Las descargas generadas por el Departamento del Distrito Federal, los Estados, los Municipios y las Entidades Paraestatales que presten servicios de agua potable y alcantarillado, podrán pagar el derecho de descarga de acuerdo al porcentaje de aportación en volumen de descargas industriales a la infraestructura hidráulica o alcantarillado público, aplicando la cuota que corresponda por metro cúbico de agua descargada, según:

- a) El porcentaje de aportación de descargas industriales, y
- b) La zona a que corresponda.

Como ejemplo tenemos para la Zona de disponibilidad 1:

1. Si el porcentaje es inferior a 20% \$600.00
2. Si el porcentaje está entre el 20 y 60%. \$ 800.00
3. Si el porcentaje es superior al 60% \$ 1000.00



2.1.5 Norma Oficial Mexicana.

Un caso importante de normatividad secundaria es el constituido por las Normas Oficiales Mexicanas las cuales son entendidas como el conjunto de reglas científicas o tecnológicas emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca Urbano, que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de las actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente.

Lo que se persigue con estas normas es uniformar los principios y los criterios, de las políticas y estrategias en materia ambiental, determinando los parámetros de emisión dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población, así como el de asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico, protegiendo además el ambiente.

NOM-002-ECOL-1996

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL⁵

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

Especificaciones

2.1 Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 2.1. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

2.2 Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales



locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

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

Limites máximos permisibles			
PARAMETROS (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	7.5	100
Sólidos sedimentables (Mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 2.1

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

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

2.6 Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 2.2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 referida en esta Norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

2.7 El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto se podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante



el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

- a) Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.
- b) Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

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

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

- a) Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- b) Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

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

2.10 Los valores de los parámetros en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta Norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla 2.2

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

HORAS POR DIA QUE OPERA EL PROCESO DE GENERADOR DE LA DESCARGA	NUMERO MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MAXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MINIMO	MAXIMO
Menor que 4	Mínimo 2		
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Tabla 2.2 Frecuencia de muestreo



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

$$VMSi = VMCx_{Qt}^{Qi}$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples “i”, litros.

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

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

Qt = Σ Qi hasta Qn, litros por segundo.

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

2.11 Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la Tabla 2.3. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

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

Tabla 2.3

2.12 Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 2.3 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:



- a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente, en un plazo no mayor de 180 (ciento ochenta) días a partir de la fecha de publicación de esta Norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.
- b) La autoridad competente, previa a la publicación de esta Norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
- c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma, para su descarga correspondiente.
- d) Exista previo a la publicación de esta Norma, reglamentación local que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

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

2.14 Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 2.1 de la presente Norma Oficial Mexicana. Así mismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

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

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



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

2.18 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio diario o mensual de los parámetros referidos en el punto 2.1 de esta Norma, la suma de esta concentración al límite máximo permisible correspondiente, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo demuestre y notifique por escrito a la autoridad competente.

BIBLIOGRAFIA

1. CONSTITUCION POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
2. Consulta pagina de Internet
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/leygeneral>
3. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, México 1991
4. Consulta pagina de Internet
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/leyaguasnacionales>
5. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.

2.2 PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros característicos de las aguas residuales se pueden separar en tres grupos: físicos, químicos y biológicos.

2.2.1 Características del agua

2.2.1.1 Características físicas

Las características físicas y organolépticas se refieren, en general, a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos. Dentro de este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética cuya importancia reside en que el agua debe agradar a los consumidores y no provocarles desconfianza ni perjuicios en sus instalaciones o bienes. Los más importantes son los sólidos en sus diferentes formas: materia flotante, suspendida, coloidal y disuelta; así como la temperatura, olor y color. En la figura 2.4 se presenta la clasificación por tamaño de las partículas encontradas en el agua¹.

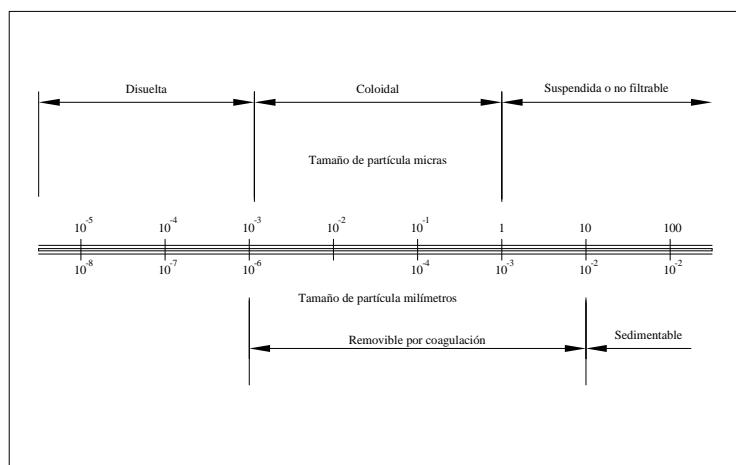


Fig. 2.4 Clasificación y tamaño de partículas encontradas en el agua

Sólidos totales. Se encuentran representados por el material que arrastran las aguas de suministro doméstico, Industrial y agrícola durante su uso. Desde el punto de vista analítico los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua entre 103 y 105°C.

Sólidos disueltos o filtrables. Son componentes de los totales; comprenden partículas del tamaño de los iones y de los coloides, cuya magnitud oscila entre 10^{-3} y 1 micra, involucra la presencia de sales disueltas en el agua.

Se entiende por sólido disuelto todo residuo que queda después de filtrar en membranas de 1.2 μm de poro y evaporar el agua a 103°C. Contiene compuestos muy variados por



lo que se dice que es una prueba global. Los sólidos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como materia orgánica.

El intervalo usual de sólidos disueltos totales en agua de abastecimiento varía de 25 a 5000 mg/L, en función de la geología local. La concentración normalmente deseable es de 200 mg/L.

La conductividad varía directamente con la cantidad de sólidos disueltos, principalmente por las sales minerales, por lo que se considera una medida indirecta de éstos que es muy útil en campo por su rapidez y sencillez. La conductividad o conductancia específica es una medida de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Las unidades de medida son el inverso de ohms (expresan resistencia) y se denominan mhos o microsiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el SI (Sistema internacional).

Los sólidos disueltos pueden tener importantes efectos en el sabor. Se considera que menos de 600 mg/L no se perciben aunque contenidos muy bajos producen un agua insípida. Por arriba de 1 200 mg/L el agua comienza a ser rechazada. Asimismo, los sólidos disueltos promueven la corrosión. Para evitar en los últimos problemas la OMS recomienda no exceder 1000 mg/L, que es igual al valor de la norma.

Cuando el agua tiene iones (sodio, magnesio o sulfato, por ejemplo) la reducción de los sólidos disueltos totales se logra mediante la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la destilación y el intercambio iónico; de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-flocculación-sedimentación-filtración seguido de alguno de los anteriores métodos. Tanto el intercambio iónico y la electrodiálisis son aplicables para concentraciones por arriba de 5 000 mg/L de SDT, mientras que la destilación y la ósmosis para valores inferiores.

Sólidos suspendidos. Forman parte de los sólidos totales, son partículas mayores de una micra, e incluyen a los sólidos sedimentables que a su vez son de tamaño mayor a las 10 micras. Cada una de las categorías de sólidos definidas anteriormente, se dividen en función de su volatilidad a 600°C, en fijos y volátiles. La fracción orgánica se oxida a esa temperatura, convirtiéndose en gas y la inorgánica permanece como ceniza.

Los términos sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos fijos corresponden a fracciones orgánicas e inorgánicas respectivamente. A 600°C la descomposición de la fracción inorgánica se encuentra restringida a la del carbonato de magnesio, el cual se convierte en dióxido de carbono y óxido de magnesio a 350°C; el carbonato de calcio, el mayor componente de las sales inorgánicas es estable a temperaturas menores a 850°C.

Sólidos sedimentables. Este término se aplica a los sólidos en suspensión que pueden llegar a sedimentar en condiciones de reposo, debido a la influencia de la gravedad. Únicamente sedimentan los sólidos suspendidos gruesos, que tengan gravedad específica mayor que la del agua. Los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables.

Este parámetro determina la necesidad de construir unidades de sedimentación en el tratamiento de aguas residuales. La prueba para medir los sólidos sedimentables se hace en un cono Imhoff, de un litro de capacidad. Se coloca la muestra y se deja en reposo por una hora, la prueba se debe hacer a temperatura ambiente en un lugar donde no se tenga la luz del sol directamente, para evitar interferencias con la sedimentación normal de los sólidos. Se mide el resultado tomando la lectura en mililitros de sólidos sedimentables por litro de muestra.

En la figura 2.5 se presenta la relación entre los diferentes tipos de sólidos: totales, suspendidos, disueltos, fijos y volátiles

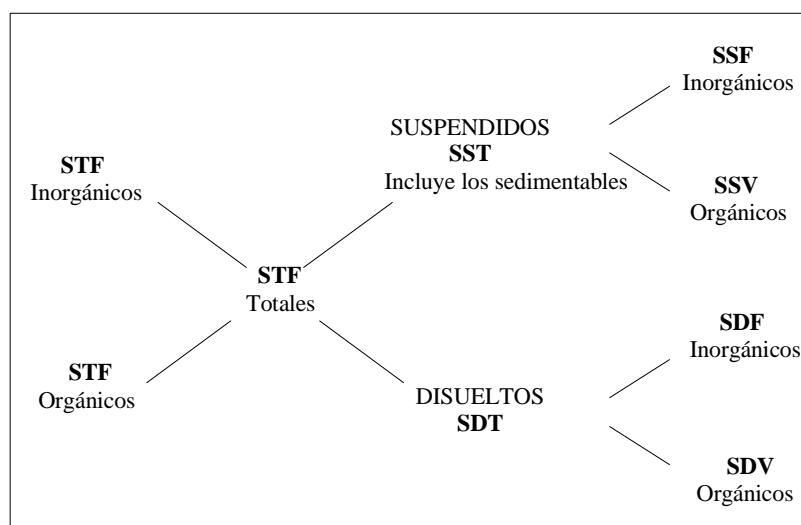


Fig. 2.5 Relación entre los sólidos totales, suspendidos, disueltos, fijos y volátiles.

Temperatura. Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual. Usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua de suministro, por la adición de calor que ejercen los usos domésticos e industriales. La temperatura es muy importante porque afecta a la fauna y flora acuática, la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases. Así por ejemplo al incrementarse la temperatura, la velocidad de biodegradabilidad de compuestos orgánicos, también se incrementa, pero la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye.



Color. El agua residual doméstica presenta un color gris cuando se acaba de generar, pero posteriormente se torna de color negro, debido a la actividad de microorganismos anaerobios, que descomponen la materia orgánica en ácido sulfúdrico y metano. Por lo que respecta a las aguas residuales industriales, estas presentan color en algunos casos, tales como el de las industrias textil, celulosa y papel, petrolera y petroquímica.

El color es importante, ya que da una indicación rápida de la calidad del agua. Además, junto con el olor y el sabor determina la aceptación por parte del consumidor. Hay dos tipo de color: el verdadero, producido por sustancias disueltas y que es el parámetro considerado en la norma; y el aparente, provocado por el color verdadero más el efecto de los sólidos en suspensión.

El color en el agua de abastecimiento puede ser originado por la presencia de iones metálicos como el hierro y el manganeso, las sustancias húmicas (materia orgánica proveniente de suelos turbosos) y el plancton o las algas. Cuando el agua tiene 15 unidades de color verdadero (con un umbral de 3 para ciertas personas) no es aceptada por el público. Además, el color afecta negativamente la eficiencia de la desinfección. El valor guía de la OMS es de 15 unidades mientras que el de la norma mexicana es de 20 unidades, en la escala platino cobalto.

Para eliminar el color aparente se aplica la coagulación-flocculación seguida por sedimentación. La cantidad de coagulante depende de la concentración inicial del color y del pH óptimo (generalmente ácido). En el caso del color verdadero, se recurre a sistemas más complejos como la absorción en carbón activado, oxidación y filtración en zeolitas, según sea el origen del color.

Olor. El olor de las aguas residuales domésticas es causado por compuestos derivados de la actividad microbiana anaerobia. El de las residuales industriales es particular según sea el caso, así por ejemplo la industria petrolera presenta olores característicos, como el de la gasolina, el fenol o el ácido sulfídrico. También parte de los compuestos que producen olores y sabores pueden ser generados durante el tratamiento mismo del agua, por microorganismos, o la interacción de los reactivos añadidos (coagulantes, polímeros, cloro, etc.).

Los halógenos, y en particular el cloro, provocan olores y sabores, cuya magnitud depende fuertemente del pH del agua. El ácido hipocloroso, el ión hipoclorito y las mono y dicloroaminas tienen umbrales de olor que varían entre 0.15 y 0.65 mg/L.

La eliminación del olor y del sabor se asocia con el tipo de compuesto que la origina. El más común en aguas de suministro se debe al sulfuro de hidrógeno, el cual se elimina mediante aireación. Otros compuestos más estables en agua como el hierro requieren oxidación y sedimentación-filtración. El ozono es el método más eficaz para controlar los olores y sabores de origen orgánico, sin embargo puede originar subproductos con sabor de fruta y olores de naranjas provenientes de aldehídos alifáticos.



El ozono combinado con carbón activado tiene una gran eficacia para remover olores y sabores causados por compuestos orgánicos. Otra opción es la oxidación con cloro (en dosis superior al punto crítico), dióxido de cloro, agua oxigenada o permanganato de potasio, seguidos casi siempre de filtración. También, es posible combinar la oxidación con la adsorción en carbón activado.

Turbiedad. La turbiedad incrementa el color aparente del agua y se debe a la presencia de materia suspendida orgánica e inorgánica como la arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos. Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas, y por ello depende no sólo de su concentración sino también de su tamaño y forma.

En general, las partículas que producen turbiedad varían entre 1nm a 1mm y provienen de la erosión de suelos y materiales. La importancia sanitaria de la turbiedad radica en que por sus componentes arcillosos y orgánicos adsorben otros compuestos como plaguicidas, metales y microorganismos que ellos sí pueden ser dañinos. Particularmente, la turbiedad fomenta un mayor desarrollo de los microorganismos ya que sirve de superficie para que éstos se alimenten y reproduzcan. Además, la turbiedad protege a los microorganismos de los desinfectantes, que se meten adentro de las partículas por lo que se recomienda clorar agua sólo con niveles inferiores a 5 UTN. Este valor corresponde al de la guía de la OMS y a la norma de agua potable. En caso de no eliminar la turbiedad se pueden encontrar coliformes fecales en agua con cloro libre residual de hasta 0,5 mg/L.

Por lo regular, la turbiedad de las aguas subterráneas es muy baja (< 5 UTN) en tanto que la de los cuerpos superficiales es mucho mayor, e incluso muy altas (hasta valores > 1000 UTN) y además variable. Para remover la turbiedad se emplea la coagulación-floculación, seguida de sedimentación y filtración. En caso de el agua contenga una turbiedad > 100 UTN se puede aplicar un paso previo de sedimentación.

2.2.1.2 Características químicas¹

Se dividen en orgánicos, inorgánicos y gases.

Orgánicos. La materia orgánica presente en las aguas residuales es de origen animal, vegetal y compuestos sintéticos orgánicos creados por el hombre. Los principales grupos de substancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasas y aceites (10%). La urea que es el principal constituyente de la orina es otro compuesto orgánico importante, debido a que se descompone rápidamente, sólo se encuentra en aguas residuales recientes. Los elementos constitutivos principales de la materia orgánica son carbón, hidrógeno, oxígeno, y en algunos casos nitrógeno; así como cantidades menores de azufre, fósforo, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, etc.



Otros compuestos orgánicos a veces presentes en las aguas residuales son orgánicos sintéticos que van desde estructuras moleculares sencillas hasta extremadamente complejas, como son los fenoles, detergentes, plaguicidas, y otros más asociados con metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio. Para facilitar la detección de la materia orgánica usualmente se recurre a medir parámetros indirectos como son la demanda bioquímica y química de oxígeno y el carbono orgánico total.

Demanda bioquímica de oxígeno. La DBO₅ o demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días es el parámetro más usado para estimar el grado de contaminación orgánica en el agua. Su determinación implica medir la variación del oxígeno disuelto en el agua a través del tiempo debido a las reacciones bioquímicas involucradas en el metabolismo microbiano de la materia orgánica. La DBO del agua residual da una idea de la biodegradabilidad de la materia orgánica, además sirve para calcular la cantidad de oxígeno necesario para la estabilización de la materia orgánica mediante un tratamiento biológico, los datos de DBO se emplean para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de aguas, y en general, la DBO₅ es un índice importante de la calidad de los cuerpos de agua.

El procedimiento para determinar la DBO parte de la selección adecuada del volumen de muestra que se adiciona a las botellas de prueba de 300 ml de capacidad, el volumen se completa con agua de dilución que contiene oxígeno, nutrientes, sales de calcio, magnesio y fierro que mantienen en condiciones adecuadas para la degradación de la materia orgánica, si es necesario, el agua de dilución se "inocula" con un cultivo de bacterias que hayan sido aclimatadas a la materia orgánica del desecho. Cuando la muestra contiene una población grande de microorganismos, como en las aguas residuales domésticas, no es necesario el inóculo. Las botellas se incuban por cinco días a 20°C.

En la Tabla 2.6 se presenta una guía para seleccionar el volumen de muestra en función de la cantidad esperada de DBO.

Volumen en 300 ml (ml)	Concentraciones de DBO (mg/l)
0.02	30000-105000
0.05	12000-42000
0.10	6000-21000
0.20	2000-10500
0.50	1200-4200
1.00	600-2100
2.00	300-1050
5.00	120-420
10.00	60-210
20.00	30-105
50.00	12-42
100.00	6-21

Tabla 2.6 Volumen de muestra según la concentración de DBO



La DBO se calcula con los datos de oxígeno disuelto en la muestra al inicio y al final del período de incubación. Cuando el análisis se hace únicamente con agua de dilución sin emplear inóculo. La DBO se calcula con la siguiente ecuación:

$$DBO\left(\frac{mg}{l}\right) = (D_1 - D_2) / p$$

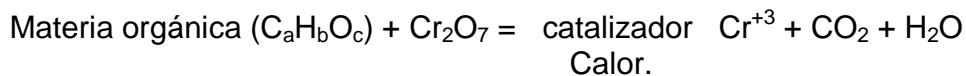
Siendo:

D_1 = Oxígeno Disuelto de la muestra diluida, medido inmediatamente después de su preparación. mg/l.

D_2 = Oxígeno Disuelto de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C. mg/l

P = Fracción volumétrica decimal de la muestra empleada. Por ejemplo, para una dilución del 10% P = 0.1 , del 50% P'=0.5 y del 100% P = 1.0.

Demandा química de oxígeno, (DQO). Es otro parámetro que permite medir indirectamente el contenido de materia orgánica. El procedimiento se fundamenta en la oxidación de la materia orgánica mediante un oxidante químico fuerte tal como el dicromato de potasio en medio ácido alta temperatura y en presencia de sulfato de plata como catalizador; la reacción que se efectúa es:



El método del dicromato de potasio se basa en el hecho de que la mayoría de los compuestos se oxidan en medio ácido. El exceso de dicromato de potasio se titula con una solución de sulfato ferroso amoniacial. La cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al dicromato de potasio consumido.

La DQO es usualmente mayor que la DBO puesto que mayor cantidad de sustancias son oxidadas químicamente que bioquímicamente. Para muchos tipos de desechos la DBO se correlaciona con la DQO, cuando se trata de desechos domésticos típicos la DQO es de 1.2 a 1.5 veces mayor que la DBO.

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

Inorgánicos y gases. Estos parámetros químicos tienen importancia en la estabilización del agua y en el control de la calidad de la misma, así como condicionantes y limitantes del crecimiento biológico. A continuación se presentan aspectos generales de los parámetros químicos inorgánicos y gases por lo que respecta a su significado y efectos relevantes.



Alcalinidad. Es la medida del contenido de iones hidróxidos (oxhidrilos), bicarbonatos y carbonatos. Su efecto es limitante de la actividad biológica.

Nitrógeno amoniacal. Es un nutriente biológico e interviene en el metabolismo bacteriano. El nitrógeno amoniacal corresponde al N del NH_4^+ , que está en equilibrio con el NH_3 , que es el amoniaco. El nitrógeno amoniacal no es tóxico pero el amoniaco sí lo es, en concentraciones rara vez encontradas en agua de suministro. Normalmente hay menos de 0.2 mg/L, pero en aguas subterráneas anaerobias puede ascender hasta 3 mg/L. El nitrógeno amoniacal proviene de los procesos metabólicos, agrícolas e industriales. Su presencia indica posible contaminación con aguas residuales.

De acuerdo con la OMS el amoniaco presente en agua potable no tiene una importancia inmediata para la salud por lo que no se propone un valor guía basado en criterios sanitarios. Sin embargo, por los problemas de olor (umbral de 1.5 mg/L), sabor (umbral del 35 mg/L) y su interferencia con la desinfección se establece un valor guía de 1.5 mg/L. En México, la norma estipula un valor de 0.5 mg/L. Su remoción generalmente se lleva a cabo mediante la desgasificación o desorción en columna, de acuerdo a la NOM también se puede utilizar la coagulación-flocculación-sedimentación-filtración.

Nitratos. Son nutrientes biológicos se forman en fases terminales de procesos biológicos.

Los nitratos y los nitritos son iones presentes en la naturaleza intercambiables entre ambos a través de un gran número de reacciones químicas y biológicas. Los nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) se expresan, por lo general, en términos de nitrógeno oxidado total (NO_x). En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones ascienden por lo general a unos cuantos mg/L. En particular, en aguas subterráneas, su concentración se ha incrementado como resultado de la lixiviación de los fertilizantes que emplean nitrato de amonio. Los nitratos son reducidos a nitritos por la ausencia de oxígeno. Esta reacción puede llevarse a cabo de una manera parcial o completa.

Las aguas que contienen una elevada cantidad de nitratos son potencialmente dañinas debido a su reducción en nitrito el cual bloquea la hemoglobina y produce metahemoglobina. Este compuesto por sí mismo no es tóxico, pero reduce el transporte de oxígeno por la sangre en menores de 6 meses. De acuerdo con la OMS (1995) no ha habido ningún caso de metahemoglobinemia al consumir agua con más de 10 mg/L y se ha podido constatar en varias ocasiones que concentraciones hasta de 20 mg/L no tienen efectos en lactantes; más bien, los episodios de metahemoglobinemia han estado asociados con fuentes adicionales de nitratos así como por la presencia de enfermedades causadas por bacterias que bloquean la reacción que evita la reducción de los nitratos a nitritos. Otro problema es la posible formación de nitrosaminas, las cuales son potencialmente carcinógenas en el tracto digestivo. Éstas se forman por la ingesta de nitritos, por la descomposición bacteriana de nitratos, que reaccionan con aminas secundarias y terciarias de los alimentos.



Existen diferentes métodos para eliminar los nitratos y nitritos como

- Nitrificación/desnitrificación biológica
- Desorción de amoníaco con aire (stripping),
- Intercambio iónico,
- Cloración hasta el punto de quiebre y
- Ósmosis inversa

De acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-floculación-sedimentación-filtración

En la actualidad, sólo la nitrificación/desnitrificación biológica es considerada como relativamente rentable pero para agua residual. En agua potable no hay proceso que se considere rentable; cuando hay ese problema se cambia de fuente o en algunos países, se reparte agua embotellada a las familias con niños. Los valores guías de la OMS son de 50 mg NO₃/L junto con 3 mg NO₂/L, pero establecidos en forma conjunta de manera que la suma de las razones entre la concentración de cada uno y su respectivo valor guía no sobrepase la unidad. La norma mexicana los limita por separado a los nitratos en 10 mg/L medidos como N y los nitritos a 1 mg/L, también como N.

Fosfatos. Son nutrientes biológicos e intervienen en el metabolismo bacteriano.

Metales pesados. Indican contaminación industrial. Afectan el metabolismo microbiano por ser tóxicos.

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

Ácido sulfídrico y metano. Indican condiciones sépticas se forman de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

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

El pH es una variable importante en el manejo de la calidad del agua pues influye en los procesos químicos y biológicos. Mide el balance de acidez de una solución y se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración del ión H₃O+. La escala de pH va del 0 al 14 (muy ácido a alcalino), el valor de 7 representa la neutralidad. En agua no contaminada el pH es el controlador principal del balance entre el CO₂, CO₃ y el HCO₃⁻, así como de otros compuestos naturales como los ácidos fulvicos y húmicos.

En sistemas de abastecimiento uno de los principales propósitos para controlar el pH es reducir al mínimo la corrosión, que es consecuencia de las complejas relaciones entre el pH, el CO₂, la dureza, la alcalinidad y la temperatura. Para ello, en general se mantiene el pH cercano a 7. La corrosión provoca la introducción de componentes en el agua no



deseable que causan problemas de sabor y color y afecta la precipitación o solubilización de los metales.

Valores superiores de pH de 11 se relacionan con irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

La OMS no establece un valor guía pero recomienda su control para una adecuada clarificación y desinfección del agua (para lo cual no debe ser mayor de 8).

La neutralización es el proceso que se emplea para ajustar el pH. Los reactivos y las cantidades que intervienen así como la economía del proceso dependen de las características del agua, principalmente de su alcalinidad.

Dureza. La dureza representa la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en el agua. Es causada principalmente por las sales de Ca y Mg (en ese orden) y en menor grado por Al, Fe, Mn, Sr y Zn. Por la variedad de compuestos que intervienen, la dureza se expresa como una cantidad equivalente de CaCO_3 .

La dureza se clasifica en carbonatada (temporal) y no carbonatada (permanente). La primera es sensible al calor, precipita a altas temperaturas y equivale a la alcalinidad. Cuando el agua es "dura" significa que contiene sales incrustantes, dificulta la cocción de legumbres e impide la formación de espuma con el jabón.

No existe información contundente sobre los efectos en la salud por la dureza. Al parecer, el agua blanda provoca diarrea y se tienen indicios que una dura se relaciona con problemas cardiovasculares.

La dureza adquiere valores de cero a cientos de mg/L en función de la fuente de abastecimiento o el procesamiento que se haya dado al agua. Un agua con menos de 75 mg/L de CaCO_3 se considera blanda, entre 75 y 150 mg/L es moderadamente dura, de 150 a 300 mg/L es dura y más de 300 mg/L es extremadamente dura. Según el pH y la alcalinidad, la dureza superior a 200 mg/L puede provocar incrustaciones, en particular en sistemas donde circula agua caliente mientras que una dureza inferior a 100 mg/L puede conducir a problemas de corrosión. En general, las durezas elevadas se relacionan con aguas subterráneas mientras que valores bajos son característicos de aguas superficiales.

En cuanto al sabor, la aceptación por parte del público es muy variable pues el umbral varía entre 100 y 300 mg/L, según sea el anión asociado (por ejemplo la dureza de magnesio tiene un sabor más fuerte que la del calcio). En general, la gente tolera hasta 500 mg/L, que sea el valor guía establecido por la OMS con fines estéticos y que sea igual al de la NOM.



Al proceso de eliminar la dureza se le denomina “ablandamiento” y se realiza por diferentes métodos. El más usado es la precipitación del Mg^{2+} y del Ca^{2+} con cal y carbonato de sodio para producir hidróxidos y carbonatos. Por medio del intercambio iónico se logra un ablandamiento total y con el calentamiento se elimina la dureza temporal, pero estos dos métodos se realizan casi sólo a nivel doméstico.

Fenoles o compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos que se encuentran en las aguas superficiales son resultado de la contaminación antropogénica por una diversidad de productos industriales provenientes de la manufactura del acero, la destilación del coque, la refinación del petróleo y de operaciones químicas. También provienen de productos para tratar la madera, biocidas y de aguas municipales. En el agua subterránea se encuentran en áreas con estratos petroleros.

Los fenoles en presencia de cloro se transforman en clorofenoles (2-clorofenol, 2,4 diclorofenol y 2, 4, 6 triclorofenol) que son objetables debido a problemas de olor y sabor. Los umbrales respectivos son de 0.1, 0.3 y 0.2 $\mu g/L$ para el sabor y los de olor de 10, 40 y 300 $\mu g/L$. Estos umbrales están por debajo de los límites de toxicidad. La OMS establece un valor guía basado en criterios sanitarios sólo para el 2,4,6 triclorofenol y es de 200 $\mu g/L$ mientras que la NOM limita el contenido a 300 $\mu g/L$.

Los fenoles pueden eliminarse mediante oxidación con ozono y adsorción en carbón activado, ambos son procesos muy costosos, de acuerdo a la NOM también se puede utilizar la coagulación-flocculación-sedimentación-filtración.

2.2.1.3 Características biológicas¹

Son de importancia en el tratamiento de aguas residuales: las bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos crustáceos y virus.

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

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

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



Las bacterias del grupo coliforme y los estreptococos fecales son los parámetros indicadores de contaminación bacteriológica del agua. Un indicador es un organismo que por su presencia demuestra que ha ocurrido la contaminación.

Grupo coliforme. Incluye a todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas, en forma de bacilo corto, que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 horas a 35. De este grupo heterogéneo no sólo está presente en las heces humanas, sino que se encuentra en otros ambientes como son aguas negras, aguas dulces superficiales, suelo y vegetación.

En el grupo de coliformes se encuentran las siguientes:

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

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

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

a) Grupo coliforme total.

1) Ventajas.

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

2) Desventajas.

- Algunos miembros del grupo coliforme tienen una amplia distribución en el medio ambiente en comparación a su presencia en los intestinos de animales de sangre caliente.



- Algunas cepas del grupo coliforme pueden crecer en aguas contaminadas y por consiguiente esto hacer difícil la evaluación de la presencia o grado de contaminación.
- Otras bacterias pueden interferir con la prueba de los coliformes dando resultados falsos positivos o falsos negativos, por ejemplo: E. aerogenes o Pseudomonas

b) Grupo coliforme fecal.

1) Ventajas.

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

2) Desventajas.

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

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

Ventajas y desventajas de los análisis de estreptococos fecales.

- Viven menos tiempo en el medio acuático que el grupo de coliformes, excepto cuando el agua tiene un contenido elevado de electrolitos como son las aguas de riego.
- No se reproducen con tanta frecuencia como los coliformes, ya que requieren mayor número de nutrientes.

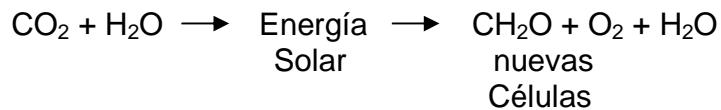


- Desarrollan resistencia a los procesos de cloración del agua, mientras que los coliformes son más susceptibles la desinfección por cloración.
- La relación CF/EF (coliformes fecales/estreptococos fecales) nos indica que: si es mayor de 4.0 la contaminación es de origen fecal (desechos humanos), y si la relación es menor de 0.7 el origen de la contaminación es fecal no humana.

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

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

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



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

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

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

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



2.2.2 Necesidades del tratamiento³

El agua es reconocida como fuente de vida. Las teorías sostienen que el origen de la vida en nuestro planeta tuvo lugar en el mar, y también por ser las riberas de los cuerpos de aguas naturales los sitios ideales para el asentamiento de poblaciones, dedicadas a la agricultura y la pesca; y actualmente sitios de desarrollo urbano e industrial.

La captación y concentración de las aguas residuales de una comunidad, denominadas "aguas negras", crea el problema de su evacuación que es necesario resolver para proteger la salud y bienestar público.

Usualmente, es necesario recurrir a un sistema de tratamiento para las aguas residuales y así hacer una eliminación de los contaminantes, los residuos obtenidos como consecuencia de este proceso pueden quemarse, enterrarse o utilizarse para fines comerciales.

El objeto de todos los métodos de tratamiento de las aguas residuales empleados hasta hoy, ha sido transformarlas de un residuo que pueda evacuarse sin perjuicios y en ciertos casos evitar la contaminación de las aguas y bienes nacionales. Los beneficios económicos solo han sido considerados en un grado secundario.

2.2.3 Criterios de calidad del agua

Los criterios de calidad del agua que se aplican actualmente, están representados por las Normas Técnicas Ecológicas para el Control de la Calidad del Agua, publicadas en el Diario Oficial de la Federación a partir del 4 de agosto de 1988; y por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, emitidos el 2 de diciembre de 1989.

Normas Técnicas Ecológicas. Establecen los límites máximos permisibles de los contaminantes específicos de las descargas de aguas residuales de 30 sectores industriales, cuando se viertan a cuerpos de agua, entendiéndose como tales ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua. Dichas normas también sugieren los tipos de tratamiento que pueden aplicarse a las descargas para no rebasar los límites máximos permitidos.



Parámetros	Industrias					
	Alimenticia ¹	Textil ²	Curtido ³		Ouímica ⁴	Acabado de metales ⁵
			(cromo)	(taninos)		
pH	4-7	1-12	5-8	11	3.6-7.9	5-10
Temp. °C	17	30-32	22	22	2.8-31.5	
ST	1000	40	65		028-21249	
SST		111-670	1034	833		
S Sed.. ml/l	100 9	0.9-1.9		118	6.3-12.9	
G y A	1000	3.5-79.3	39	200	17 -167	56
DBO	3000	500-2300	1452	3573	207-562	
DQO	5000	715-13905	1558	4167	192-1615	
SAAM		4-42				
NT		6-73	29	53	11-134	
P0 ₄ T					16-436	
CN						300
Cu		1.3-5.0				56
Fe		5.6				
Cr ⁺³		0.3				
Cr ⁺⁶		26				
Ni						200
Zn						22
Taninos						557
Flujo de agua				360		
Residual. m ³ /d	525	679-997	150	150		

Tabla 2.7 Valores característicos de descargas industriales

Notas: Las unidades en mg/l:

¹ Enlatado de frutas Y legumbres.

² Lana Y algodón.

³ Características de una planta mediana de curtido al cromo (1550 Kg de pieles curtidas por día) y de curtido con taninos (5100 Kg de pieles curtidas por día).

⁴ Ramas de producción: ácidos, bases y sales; resina y bule sintético; industria farmacéutica y plaguicidas.

Los valores límites máximos permisibles para los parámetros contaminantes se fijan de acuerdo al promedio diario y al valor instantáneo, el promedio diario se hace mediante el análisis de muestras compuestas que resultan de la mezcla de muestras instantáneas tomadas a intervalos que van de acuerdo a las horas diarias que opera el proceso generador de la descarga, tal como se indica a continuación:

La relación de los primeros 25 sectores industriales que cuentan con Normas Técnicas Ecológicas Para el Control de la Contaminación del Agua son las siguientes:



1. Centrales Termoeléctricas Convencionales.
2. Industria Productora de Azúcar de Caña.
3. Industria de Refinación de Petróleo Crudo y sus Derivados y Petroquímica Básica.
4. Industria de Fabricación de Fertilizantes, excepto las que producen ácido fosfórico como producto intermedio.
5. Industria de Productos Plásticos y Polímeros Sintéticos.
6. Industria de Fabricación de Harinas.
7. Industria de la Cerveza y de la Malta.
8. Industria de Fabricación de Asbestos de Construcción.
9. Industria Elaboradora de Leche y sus Derivados.
10. Industria de Manufactura de Vidrio Plano.
11. Industria de Productos de Vidrio Prensado y Soplado.
12. Industria de Fabricación de Caucho Sintético, llantas y Cámaras.
13. Industria del Hierro y del Acero.
14. Industria Textil.
15. Industria de la Celulosa y del Papel.
16. Industria de Bebidas Gaseosas.
17. Industria de Acabados Metálicos.
18. Industria de Laminación, Extrusión y Estiraje de Cobre y sus Aleaciones.
19. Industria de Impregnación de Productos de Aserradero.
20. Industria de Asbestos Textiles. Materiales de Fricción y Selladores.
21. Industria del Curtido y Acabado en Pieles.
22. Industria de Matanza de Animales y Empapado de Cárnicos.
23. Industria de Envasado de Conservas Alimenticias.
24. Industria Elaboradora de Papel a partir de Celulosa Virgen.
25. Industria Elaboradora de Papel a partir de Fibra Celulósica Reciclada.

Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Intervalo entre muestras instantáneas. (horas)
8	3
12	3
24	4

En las Tablas 2.8, y 2.9 Y 2.10 se presentan los contaminantes específicos que deberán analizarse en las descargas de cada sector industrial, según lo establecido en las Normas Técnicas Ecológicas. En estas tablas, las industrias se representan con los números del 1 al 25 Y corresponden al listado anterior; con X se indican los parámetros que tienen límites máximos permisibles; con X' se representan los parámetros adicionales al fijar las condiciones particulares de descarga, y con X° se representa el análisis de coliformes totales como parámetro indicador de contaminación bacteriológica, este parámetro cuenta con límites permisibles cuando en la descarga se mezclan las aguas de servicios con las de procesos industriales, y no tiene límite cuando al agua de servicio se le da una disposición adecuada para que no afecte al ambiente.



La Tabla 2.8 contiene los parámetros más comunes de calidad del agua para cada una de las descargas industriales.

En la Tabla 2.9 se presenta el listado de substancias tóxicas específicas, únicamente para las industrias que deberán reportar estos contaminantes, en general son compuestos orgánicos sintéticos como plaguicidas y productos químicos.

En la Tabla 2.10. Se enlistan los metales pesados y las respectivas industrias que deberán reportarlos en sus descargas.

Parámetros	Industrias												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
temperatura (°C)	X'		X'	X'	X'	X'	X'						
pH (unidades de pH)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
color (unidades de color)							X'						
turbiedad (UTJ)							X'		X'				
sólidos disueltos totales		X'	X'	X'	X'	X'	X'			X'	X'	X'	
sólidos suspendidos totales	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
sólidos sedimentables (mili)		"X			X	X	X						
grasas y aceites	X	X	X		X		X	X		X	X	X	X
alcalinidad		X'				X'						X'	
acidez													X'
demandा Química de oxígeno	X'		X		X	X	X'	X		X'	X		
demandा bioquímica de oxígeno		X	X		X	X	X	X	X	X			X
nitrógeno total		X'		X		X'			X				
nitrógeno amoniacal											X		X
nitratos													X'
fosfato total	X			X	X'	X'			X	X'			
sulfatos		X'	X'										
fluoruros			X	X							X		X'
cloruros		X'	X'										
detergentes										X		X'	
cloro libre		X'											
sulfitos													
sulfuros				X									X'
Coliformes totales (NMP/100 ml)	X ^o												
metales pesados					X'	X'							

Tabla 2.8 Contaminantes característicos de descargas industriales

Notas: Las unidades son mg/l.

X Parámetros con límites máximos permisibles.

X' Parámetros adicionales al fijar condiciones particulares de descarga.

X^o Sin límite si las descargas de servicios no causan efectos adversos en los cuerpos de agua. Con límite en caso contrario.

4 Fuente: Gaceta Ecológica Vol. I. Núm. 2. Agosto de 1989. SEDUE.



Parámetros	Industrias											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
temperatura °C)	X'	X'	X'	X'	X'		X'				X'	X'
pH (unidades de pH)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
color (unidades de color)	X', X'								X'		X'	X'
turbiedad (UTJ)				I					X'			X'
sólidos disueltos totales	X'	X'	X'	X'			X'	X'	X'	X'	X'	X'
sólidos suspendidos totales	X	X	X	X	X	X'	X	X	X	X	X	X
sólidos sedimentables (ml/l)	X	X	X	X		X		X	X		X	X
grasas y aceites		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
alcalinidad	X,;							X'		X'	X'	X'
acidez												
demandा química de oxígeno		X'	X	X'			X'	X'		X'	X'	X
demandा bioquímica de oxígeno	X	X				X	X	X	X	X	X	X
nitrógeno total							X'	X'	X'	X'		
nitrógeno amoniacal		X'										
nitratos												
fosfato total							X'		X'	X'		X'
sulfatos												
fluoruros			X'									
detergentes		X'										
cloro libre												
sulfitos	X'											
coliformes totales (NMP/l100 ml)	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°	X°
metales pesados		X'					X'				X'	X'

Tabla 2.8 (Continuación)
Contaminantes característicos de descargas industriales

Notas: Las unidades son mg/l.

X Parámetros con límites máximos permisibles.

X' Parámetros adicionales al fijar condiciones particulares de descarga.

X° Sin límite si las descargas de servicios no causan efectos adversos en los cuerpos de agua. Con límite en caso contrario.

4 Fuente: Gaceta Ecológica Vol. I. Núm. 2. Agosto de 1989. SEDUE.



Parámetros	Industrias												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
antraceno													
benceno													
benzoantraceno													
benzofluoranteno													
benzopireno													
bifenilos policlorados	X												
cianuros													X'
cloroformo													
compuestos fenólicos						X'							
compuestos nitrogenados							X'						
cloruro de metileno													
derivados celulósicos													
dibenzoantraceno													
2,6 dinitrotolueno													
etilbenceno													
fenantreno .													
fenoles			X'			X'		X'					X'
fluoranteno													
fluoreno													
índeno													
mercaptanos			X'										
naftaleno													
pireno													
poliamidas						X'							
resinas acrílicas							X'						
silicones								X'					
tolueno													
1 ,1,1 tricloroetano													
triclorometano													

Tabla 2.9 Substancias tóxicas específicas

Notas: Las unidades son mg/l.

X Parámetros con límites máximos permisibles

X' Parámetros adicionales al fijar condiciones particulares de descarga

4 Fuente: Gaceta Ecológica Vol. I. Núm. 2. Agosto de 1989. SEDUE.



parámetros	Industrias											
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
antraceno					X'							
benceno					X	X'						
benzoantraceno						X'						
benzofluoranteno						X'						
benzopireno						X'						
bifenilos policlorados												
cianuros				X								
cloroformo					X'							
compuestos fenólicos												
compuestos nitrogenados												
cloruro de metileno					X'							
derivados celulósicos												
dibenzoantraceno						X'						
2,6 dinitrotolueno					X'							
etilbenceno					X'	X'						
fenantreno						X' .						
fenoles	X'	X'				X'	X'					
fluoranteno						X'						
fluoreno						X'						
indeno						X'						
mercaptanos												
naftaleno					X	X						
pireno						X'						
poliamidas												
resinas acrílicas												
silicones												
tolueno					X'	X'						
1,1,1 tricloroetano					X'							
triclorometano					X'	X'						

Tabla 2.9 (Continuación) Substancias tóxicas específicas

Notas: Las unidades son mg/l.

X Parámetros con límites máximos permisibles.

X' Parámetros adicionales al fijar condiciones particulares de descarga.

4 Fuente: Gaceta Ecológica Vol. 1. Núm. 2. Agosto de 1989. SEDUE.



Parámetros	Industrias												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
aluminio			X'										
antimonio				X'									
arsénico													
bario													
berilio													
cadmio			X'										
cobalto				X'									X'
cobre	X		X'										
cromo hexavalente			X					X'					
cromo total			X									X'	
fierro	X		X'										
manganeseo													X'
mercurio			X'										
níquel			X'										
plomo			X'								X'		X'
vanadio			' X'										
zinc			X'						X'				X'
Parámetros	Industrias												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
aluminio				X									
antimonio					X'								
arsénico					X	X'							
bario				X									
berilio					X'								
cadmio				X	X'								
cobalto													
cobre	X			X	X	X'							
cromo hexavalente				X					X				
cromo total	X			X	X	X'			X				
hierro				X									
manganeseo				X									
mercurio						X'							
níquel					X		X'						
plomo					X	X	X'						
vanadio													
zinc				X	X	X							

Tabla 2.10 Metales pesados

Notas: Las unidades son mg/L

X Parámetros con límites máximos permisibles.

X' Parámetros adicionales al fijar condiciones particulares de descarga.

4 Fuente: Gaceta Ecológica Vol. I. Núm. 2. Agosto de 1989, SEDUE.



2.2.4 Criterios Ecológicos².

Precisan los niveles que deberán tener las substancias que se encuentran en el agua, o sus efectos, de tal manera que estos parámetros constituyen la calidad mínima requerida para calificar si un cuerpo de agua es apto para ser utilizado como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, uso pecuario, uso en acuacultura, o bien, para el desarrollo y la conservación de la vida acuática. La comparación de los criterios ecológicos con la calidad real, sirve para establecer el nivel de contaminación del agua, así como para fijar condiciones particulares a las descargas de aguas residuales.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, faculta para formular los criterios ecológicos que deberán observarse en la aplicación de la política general de ecología y que, uno de los asuntos al que se le otorga especial atención dentro de dicha política, es el aprovechamiento racional y la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y la fauna acuáticas.

Que para poner en práctica la política ecológica en la materia, resulta fundamental definir los criterios ecológicos de calidad del agua, con este marco de referencia, en el que se precisan los niveles de los parámetros y de las sustancias que se encuentran en el agua, o sus efectos como son color, olor o sabor, potencial de hidrógeno y sus niveles permisibles, las autoridades competentes podrán calificar a los cuerpos de agua, como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, para uso en la acuacultura, o bien, para el desarrollo y la conservación de la vida acuática. Dichos parámetros constituyen la calidad mínima requerida para el uso o aprovechamiento del agua en los casos mencionados.

Que la comparación de estos criterios ecológicos con la calidad real de los cuerpos de agua, permitirá a las autoridades competentes, identificar la necesidad de establecer programas coordinados de prevención y control de la contaminación del agua, orientados a restaurar la calidad de aquellos cuerpos de agua que muestren signos de deterioro, o bien, a proteger a aquéllos que actualmente presentan mejores condiciones que las establecidas en los propios criterios; determinar la necesidad de rediseñar o, en su caso, ampliar la red nacional de monitoreo de la calidad del agua, así como identificar los casos en que deberán fijarse condiciones particulares a las descargas de aguas residuales.

Que la presencia de contaminantes en cualquier cuerpo de agua desequilibra el balance natural de las sustancias disueltas o suspendidas, modificando con ello la composición del agua. Los organismos que viven en ese medio pueden bioacumular contaminantes en forma directa, o indirecta como resultado de su transmisión a través de la cadena alimenticia.



Que por ello ha sido de importancia fundamental en la definición de estos criterios, el conocimiento de los contaminantes del agua, de la correlación entre su presencia y los efectos que éstos ocasionan en los seres vivos, así como de los consumidores directos del agua, y de las especies y actividades productivas que dependen de este recurso.

Que para establecer los niveles de los parámetros y de las sustancias que se encuentran en el agua, se tomó en consideración que, en el país, las condiciones naturales de los cuerpos de agua varían ampliamente en calidad y cantidad; el avanzado deterioro que presentan algunos de estos cuerpos; las condiciones ambientales necesarias para la existencia y desarrollo normal de los organismos en un ecosistema y los diversos efectos que ocasiona la variación de las características físicas, químicas y biológicas del agua, entre especies y aun entre individuos de la misma especie; así como los principales usos del agua.

Que los criterios ecológicos de calidad del agua en la fuente de abastecimiento para agua potable y con fines recreativos, se enfocan a la protección de la salud humana, basándose en las propiedades carcinogénicas, tóxicas u organolépticas (color, olor o sabor) de las sustancias, así como en los efectos que éstas puedan causar a los organismos que se encuentran presentes en el agua. En este caso, los criterios no se refieren a la calidad que debe tener el agua para ser ingerida, sino a los niveles permisibles en el cuerpo de agua que se pretenda utilizar para proveer agua para consumo humano.

Que tratándose de los criterios ecológicos de calidad del agua para uso recreativo con contacto primario, también se tomó en cuenta, que los cuerpos de agua que se utilizan como área de recreación pueden sostener o de hecho sostienen vida acuática y que por tanto deben reunir condiciones que aseguren la protección de la vida de agua dulce o de agua marina, según sea el caso.

Que los criterios ecológicos de calidad del agua para riego agrícola, se definieron considerando su aplicación a todo tipo de cultivo. Que los criterios ecológicos de calidad del agua para uso pecuario, se establecieron considerando la protección de la salud de los animales domésticos y los destinados a la alimentación del hombre, previendo las posibilidades de bioacumulación de sustancias tóxicas que pudieran afectar la salud humana.

Que los criterios ecológicos de calidad del agua para la protección de la vida de agua dulce y agua marina, se fijaron sobre la base de garantizar la sobrevivencia de los organismos acuáticos y evitar el peligro de bioacumulación, previniendo el daño a las especies que forman parte de la cadena alimenticia. Que los criterios ecológicos de calidad del agua para uso en acuacultura, se establecieron sobre la base de garantizar el crecimiento y el desarrollo de ciertas especies sujetas a cultivo o semicultivo, previendo las posibilidades de bioacumulación de sustancias que pudieran afectar la salud humana por su consumo.



Que en la formulación de estos criterios ecológicos participaron las Secretarías de Marina, de Agricultura y Recursos Hídricos, a través de la Comisión Nacional del Agua, de Salud y de Pesca.

CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Niveles máximos en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad

Sustancia o parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática	
					Agua dulce	Agua marina (Arenas costeras)
ACENAFTENO	0.02				0.02(I)	0.01 (1)
ACIDO 2, 4 DICLOROGENOXTRICETICO	0.1					
ACRILONITRILIO (II)	0.0006 (III)				0.07 (I)	
ACROLEINA	0.3		0.1		0.0007 (1)	0.0005 (1)
ALCALINADO (como CaCO ₃)	400.0				(IV)	(IV)
ALDRIN (II)	0.00003 (III)	0.00005	0.02		0.003	0.001
ALUMINIO	0.02		5.0	5.0	0.05	0.2
ANTIMONIO	0.1		0.1		0.09 (I)	
ARSENICO (II)	0.05 (III)		0.1	0.2	0.2 (como As III)	0.04 (como As III)
ASBESTOS (II) (fibras/1)	3000 (III)					
ASBESTOS ESTETICOS	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
BARIO	1.0				0.01	0.05
BENCENO (II)	0.01 (III)				0.05 (I)	0.005
BENCIDINA (II)	0.000001 (III)			0.02 (I)		
BERILIO (II)	0.00007 (III)		(VI)	0.1	0.001	
BIFENILOS POLICLORADOS (II)	0.0000008 (III)				0.00001	0.00003
BHC (II) (VII)					0.001 (I)	0.000003 (I)
BHC (LINDANO)					0.002	0.002
BIS (2-CLOROETIL) ETER	0.0003 (III)				(VIII)	
BIS (2-CLOROISOPROPIL) ETER	0.03 (III)				(VIII)	
BIS (2-ETILHEXIL) FTALATO	32.0				(IX)	(X)

Tabla 2.11 Criterios Ecológicos de calidad del agua



Sustancia o parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática	
					Agua dulce	Agua marina (Arenas costeras)
4-BROMOFENIL-FENIL-ETER						0.01
BORO (II)	1.0		0.7 (XI)	5.0		0.009 (XII)
BRONOFORMO (II)	0.002 (III)					
BROMURO DE METILO	0.002					
CADMIO (II)	0.01		0.01	0.02	(XIII)	0.0009
CARBONO ORGÁNICO:						
EXTRACTABLE EN ALCOHOL	1.5					
EXTRACTABLE EN CLOROFORMO	3.0					
CIANURO (como CN")	0.2	0-02		0.02	0.005 (XII)	0.001 (XIV)
CLORDANO (II) (MEZCLA TÉCNICA DE METABOLITOS)	0.003(III)	0.00002	0.03		0.002	0.00009
CLORO RESIDUAL					.011 (XII)	.0075(XII)
CLORO BENCENO	0.02				(XV)	(XVI)
2 CLORO ETIL VINYL ETER						0.5 (I)
2 CLOROFENOL	0.03				0.04	0.1
CLOROFORMO (II)	0.03(III)				0.3(I)	
CLORONAFTALENO S	0.00007(I)				0.02(I)	
CLORUROS (como Cl")	250.0		147.5		250.0	
CLORURO DE METILENO	0.002 (III)					
CLORURO DE METILO	0.002 (III)					
CLORURO DE VINILO	0.02 (III)					
COBRE	1.0		0.20	0.5	(XVII)	0.003 (XIV)
COLIFORMES FÉCALES (NMP/100 al)	1000.00	(XVIII)	1000.00		(XVIII)	(XVIII)

Tabla 2.11 Criterios Ecológicos de calidad del agua (Continuación)



I.- El nivel de esta sustancia se obtuvo de multiplicar la toxicidad aguda reportada por 0.01.

II.- La sustancia presenta persistencia, bioacumulación o riesgo de cáncer, por lo que debe reducirse a un mínimo la exposición humana.

III.- El nivel ha sido extrapolado mediante el empleo de un modelo matemático, por lo que en revisiones posteriores podrá ser modificado a valores menos estrictos.

IV.- La alcalinidad natural del cuerpo de agua no debe ser reducida en más de 25%, cuando ésta sea menor o igual a 20 mg/l no deberán admitirse reducciones inducidas.

V.- El cuerpo de agua debe de estar libre de sustancias atribuibles a aguas residuales u otras descargas que:

1. Formen depósitos que cambien adversamente las características físicas del agua;
2. Contengan materia flotante como partículas, aceites u otros residuos que den apariencia desagradable;
3. Produzcan color, olor, sabor o turbiedad; o
4. Propicien vida acuática indeseable o desagradable.

VI.- Para riego continuo de los suelos, el agua contendrá como máximo 0.1 mg/l de berilio, excepto para el caso de suelos alcalinos y de textura fina donde se pueden aplicar concentraciones de hasta 0.5 mg/l.

VII.- Los datos indicados para BHC involucran la mezcla de isómeros a, b y c.

VIII.- La toxicidad aguda para organismos de agua dulce multiplicada por 0.01 indica que la concentración de cloroalquil ésteres no debe ser mayor a 2.38 mg/l.

IX.- La toxicidad aguda para organismos de agua dulce multiplicada por 0.01 indica que la concentración de ésteres del ácido ftálico no debe ser superior a 0.0094 mg/l.

X.- La toxicidad aguda para organismos de agua marina multiplicada por 0.01 indica que la concentración de ésteres del ácido ftálico no debe ser superior a 0.02944 mg/l.

XI.- Para riego de cultivos sensibles al boro, el agua contendrá como máximo 0.75 mg/l de esta sustancia, excepto para otros cultivos donde se pueden aplicar concentraciones de hasta 3 mg/l.

XII.- La concentración promedio de 4 días de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años.

XIII.- La concentración promedio de cadmio de 4 días en g/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$(0.7852 [\ln (\text{dureza})] - 3.490)$$

$$\text{Cd (m g/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

XIV.- La concentración promedio de una hora de esta sustancia, no debe exceder este nivel, más de una vez cada 3 años.

XV.- La toxicidad aguda de °clorobencenos multiplicada por 0.01 indica que la concentración de éstos (excepto diclorobencenos) no debe ser superior a 0.00250 mg/l para proteger a los organismos de agua dulce.



XVI.- La toxicidad aguda de clorobencenos para organismos de agua marina multiplicada por 0.01 indica que la concentración de éstos (excepto diclorobencenos) no debe ser superior a 0.00160 mg/l.

XVII.- La concentración promedio de cobre de 4 días en mg/l, no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$(0.8545 [\ln (\text{dureza})] - 1.465)$$

$$\text{Cu (mg/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

XVIII.- Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

XIX.- Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.

XX.- Este nivel considera el uso del agua bajo condiciones medias de textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, lámina de riego empleada, clima y tolerancia de los cultivos a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de estas variables pueden hacer inseguro el uso de esta agua.

XXI.- La toxicidad aguda de dicloroetilenos para organismos de agua dulce multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 0.116 mg/l.

XXII.- La toxicidad aguda de dicloroetilenos para organismos de agua marina multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 2.24 mg/l.

XXIII.- La toxicidad aguda de dinitrotoluenos para organismos de agua dulce multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 0.0033 mg/l.

XXIV.- La toxicidad aguda de dinitrotoluenos para organismos de agua marina multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 0.0059 mg/l.

XXV.- Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofificación acelerada Para el caso de ríos y arroyos, se permitirán concentraciones de hasta 0.1 mg/l.

XXVI.- La concentración total de gases disueltos no debe ser superior a 1.1 veces al valor de saturación en las condiciones hidrostáticas y atmosféricas prevalentes.

XXVII.- La concentración promedio de níquel de 4 días en mg/l no debe exceder más de una vez cada tres años el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$(0.8460 [\ln (\text{dureza})] + 1.1645)$$

$$\text{Ni (mg/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg como CaCO}_3$$

XXVIII.- La toxicidad aguda de N-nitrosaminas para organismos de agua dulce multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 0.0585 mg/l.

XXIX.- La toxicidad aguda de N-nitrosaminas para organismos de agua marina multiplicada por 0.01 indica que su concentración no debe ser superior a 33 mg/l.



XXX.- Para oxígeno disuelto, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

XXXI.- Para el potencial de hidrógeno (pH), los niveles establecidos deben considerarse como mínimos y máximos.

XXXII.- No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.

XXXIII.- La concentración de plata en mg/l no debe exceder del valor numérico dado por la siguiente ecuación:

$$(1.72 [\ln (\text{dureza})] - 6.52)$$

$$\text{Ag (mg/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

XXXIV.- La concentración promedio de plomo de 4 días en ?g/1 no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$(1.273 [\ln (\text{dureza})] - 4.705)$$

$$\text{Pb (kg/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

XXXV.- La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l, requiriendo de un manejo especial.

Por otra parte, para la cosecha de frutas sensibles, la Razón de Absorción de Sodio (RAS) debe ser menor o igual que 4 y para forrajes la RAS podrá estar entre 8 y 18

XXXVI.- La concentración promedio de zinc de 4 días en mg/l no debe exceder más de una vez cada 3 años el valor numérico de la siguiente ecuación:

$$(0.8473 [\ln (\text{dureza})] + 10.3604)$$

$$\text{Zn (mg/l)} = e$$

$$\text{Dureza} = \text{mg/l como CaCO}_3$$

Para la interpretación de las tablas anteriores se tomará en cuenta que:

- a) Los niveles están referidos a cuerpos de agua;
- b) La ausencia de datos sobre parámetros y sustancias para ciertos usos, obedece a que el nivel correspondiente no ha sido determinado;
- c) En los casos en que la columna de parámetro o sustancia, o bien, en las que se establecen los niveles aparezca un número romano, deberá consultarse el anexo de las tablas; y
- d) Cuando la referencia al número romano se encuentre en la columna correspondiente al parámetro o sustancia, se entenderá que la misma se aplica a todos los niveles correspondientes al parámetro o sustancia de que se trate. Cuando dicha referencia aparezca en cualquiera otra columna, se entenderá su aplicación limitada a ese nivel en específico.



BIBLIOGRAFIA

1. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, México 1991
2. COMISION NACIONAL DEL AGUA, Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Año 2004,
3. HERMAN E HILLEBOE, Md comisionado, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Editorial Limusa Noriega Editores.
4. Gaceta Ecológica Vol. 1 Num. 2 Agosto de 1989, SEDUE.



CAPITULO 3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de substancias contaminantes a fin de evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos de agua receptores, y para lograr que la calidad del agua sea la adecuada para las necesidades de los usuarios.

La etapa inicial del tratamiento se denomina pretratamiento, y se usa para homogenizar el efluente de la planta, separar grasas y aceites, eliminar sólidos de tamaño muy grueso tales como basura y material sedimentable mayor de 10 micras.

Algunos autores clasifican el tratamiento de acuerdo a los contaminantes que se separan, en primario, secundario y terciario. El tratamiento primario se usa para remover sólidos suspendidos, ajustar pH y romper emulsiones. El secundario remueve materia orgánica biodegradable, entre el 80 y 95% del total. El terciario elimina substancias orgánicas resistentes al tratamiento biológico, como detergentes, plaguicidas, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos¹.

También el tratamiento de los lodos forma parte del tratamiento del agua residual y consiste en digerir o acondicionar los sólidos separados en el pretratamiento y en las fases primaria, secundaria y terciaria, hasta obtener un residuo inerte.

En el caso de elegir un tratamiento para la remoción de contaminantes biodegradables se tienen varias alternativas para seleccionar el que más convenga de acuerdo al caudal, eficiencia esperada y costos, a manera de ejemplo se presentan en la Tabla siguiente las eficiencias esperadas en diversos tipos de tratamiento biológico.

Tipo de tratamiento	Reducción % DBO ₅
Pretratamiento	15 - 20
Sedimentación	25 - 40
Tanques Sépticos	15 - 25
Tanques Imhoff	25-40
Sedimentación + Filtros rociadores	80 - 95
Sedimentación + Filtros de arena	90 - 95
Sedimentación + Lodos activados convencionales	85 - 95
Estabilización por contacto (biofilm)	85 - 90
Lagunas de estabilización	85 - 95
Zanjas de oxidación	90 - 95

Tabla 3.1 Eficiencias esperadas en los tratamientos de aguas residuales



Tratamiento de las aguas residuales industriales

El tratamiento de las aguas residuales industriales se puede realizar mediante las siguientes alternativas²:

- **Tratamiento combinado.** Se refiere al tratamiento de las descargas industriales con aguas residuales de origen doméstico. De esta manera se unen esfuerzos entre la industria y el municipio y se aprovechan las ventajas de economía a escala lo cual significa menor costo de tratamiento por inversión inicial, operación y mantenimiento.
Otra ventaja del tratamiento conjunto para las descargas industriales es la capacidad amortiguadora de los desechos domésticos.
- **Tratamiento separado.** Este tratamiento se refiere a la conveniencia de tratar las descargas de una misma industria en forma separada cuando las características de sus contaminantes requieren de un tratamiento especial. Puede ser total o parcial dependiendo de las condiciones particulares de las descargas.
- **Compensación, homogenización y dosificación.** Esta opción se aplica a las industrias que dependen del suministro de materias primas y de las jornadas de trabajo y que por lo tanto no tienen una producción continua y tampoco sus aguas residuales tienen un flujo constante.

La homogenización se realiza mediante tanques de retención para lograr un efluente de características uniformes en cuanto a caudal, pH, DBO, sólidos suspendidos, etc. El volumen del tanque varía de acuerdo al gasto de la descarga y está en función de los ciclos de operación que pueden ser de 2 horas o más, el tanque deberá almacenar el flujo de un ciclo de operación.

También varían según el tipo de contaminantes, por ejemplo en las aguas residuales con concentraciones de dielldrín puede ser necesario un tanque de retención para un tiempo prolongado (uno a dos meses) suficiente para permitir la degradación del contaminante hasta una concentración que permita descargar el agua a un cuerpo receptor.

La dosificación sirve para controlar el flujo de la descarga hacia el alcantarillado. Se puede descargar en proporción directa en relación con el caudal de los desechos domésticos para lograr una dilución si la descarga industrial contiene contaminantes tóxicos o bien, descargar en proporción inversa en relación al caudal de los desechos domésticos si la descarga industrial contiene elevada DBO, para no sobrecargar la planta de tratamiento.



3.1 PRETRATAMIENTO EN LA FUENTE

Algunas veces las aguas residuales industriales contienen substancias que son inaceptables en la planta de tratamiento y se deben controlar en la propia fuente para no afectar los procesos de tratamiento. Los casos más comunes son los siguientes:

- a) Desechos altamente volátiles, interfieren con la transferencia de oxígeno.
- b) Desechos con alto contenido de sólidos sedimentables inertes o disueltos, como los lodos de ablandamiento de agua, cloruros o sulfato de sodio.
- c) Substancias de descomposición anaerobia. Ocasionan problemas de olores, corrosión y requieren preaereación.
- d) Acidos o álcalis concentrados. Generalmente soluciones de más de 10.5% expresadas como ácido sulfúrico y compuestos alcalinos en la misma proporción, se deben neutralizar antes de descargarse al drenaje, hasta valores de 6 a 9 de pH.
- e) Grasas y emulsiones. Interfieren con la transferencia de oxígeno y pueden taponar la tubería.
- f) Desechos tóxicos que interfieren con los procesos de tratamiento biológico o representan peligro para la salud de los operadores. Como ejemplo tenemos los cianuros, se encuentran presentes en las aguas residuales de las industrias metalúrgicas, de galvanoplastia, fabricación de gas, humos coke e industrias químicas. Se puede formar el ácido cianhídrico por acción de un pH ácido en presencia de cianuros. Otras substancias mal olientes como el bióxido de azufre y el óxido nitroso producidas o descargadas, deben evitarse.
- Los metales como cobre, fierro, cromo, zinc y los fenoles pueden ejercer una alta demanda de cloro e interferir con los procesos biológicos.
- g) Detergentes no biodegradables. Producen espuma e interfieren con la transferencia de oxígeno.
- h) Descargas violentas y cargas orgánicas excesivas requieren regulación o pretratamiento en la fuente.

3.2 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Fundamentalmente el pretratamiento o tratamiento preliminar consiste en eliminar materias gruesas, tales como arenas, basuras y otros residuos de las aguas residuales, que puedan dañar o interferir el adecuado funcionamiento de los procesos posteriores, o dañar el equipo de bombeo. Las operaciones unitarias comunes en el pretratamiento son: cribado, triturado, desarenadores, flotación. Los dos primeros tienen aplicación común en el tratamiento de aguas residuales domésticas, pero es posible aplicarlos en algunas descargas de aguas residuales industriales, sobre todo cuando el drenaje es combinado con las aguas residuales de servicio y el agua de lluvia.

En el pretratamiento, la flotación se usa para eliminar grasas y aceites de las aguas residuales.



3.2.1 Cribado

Se usa para eliminar troncos, ramas, trapos, basura y cualquier material que pueda dañar el equipo o taponar las tuberías. En general se emplean rejillas para basura, rejillas y desmenuzadores. Las características de cada uno se presentan en la siguiente tabla³.

Tipos	Tamaño común	Propósito
Rejas para basura	5-10	Protege las bombas y equipo de los objetos grandes (Troncos, trapos, botes, etc.)
Rejillas	1.5-5	Parecidas a las rejillas con aberturas más pequeñas para separar materiales más pequeños
Tamices	022-0.32	Protegen las boquillas de los filtros percoladores
Desmenuzadores	0.75-2	Reducir el tamaño de los materiales mediante trituración o corte, sin removerlos de las aguas residuales

Tabla 3.2 Tipos de dispositivos para cribado

Rejas

Las rejillas están formadas por barras metálicas verticales o inclinadas, de sección circular, rectangular o trapecial, espaciadas a intervalos iguales y colocadas transversalmente a la dirección de escurrimiento. Se usan precediendo a estaciones de bombeo, desarenadores, tanques de sedimentación primaria y con pasos laterales de desmenuzadores. Se ha adoptado como regla que deben instalarse con un ángulo de 30 a 60° respecto a la vertical.

Los sólidos retenidos pueden ser retirados en forma manual o mecánica, dependiendo del equipo que se use.

La cantidad de material cribado por una reja está en función de la abertura entre sus barras, ésta deberá ser del tamaño adecuado para que proteja el equipo que se encuentra posteriormente (bombas, desarenadores, dosificadores, etc.). A menor abertura se retiene una mayor cantidad de materia, pero se tienen problemas de disminución de la carga hidráulica, principalmente. Las rejillas pueden ser de limpieza manual o de limpieza automática.

Rejas de limpieza manual. Generalmente se usan en pequeñas instalaciones de tratamiento procediendo al sistema de bombeo. Actualmente son poco utilizadas en los pretratamientos debido a que la tendencia es reducir la mano de obra, además los sistemas mecánicos de limpieza ofrecen mejores ventajas, en lo que se refiere a disminuir los rebosamientos que se producen por el atascamiento.

Los barrotes de este tipo de rejas son de 1 cm de ancho por 5 cm de profundidad, soldados a las barras de separación, fuera del recorrido de las púas del rastrillo. Generalmente tienen una pendiente mínima de 45° con el fin de hacer más fácilmente accesible el servicio y disminuir los riesgos de obstrucción. En la figura 3.3 se tiene un diagrama de una reja de limpieza manual.

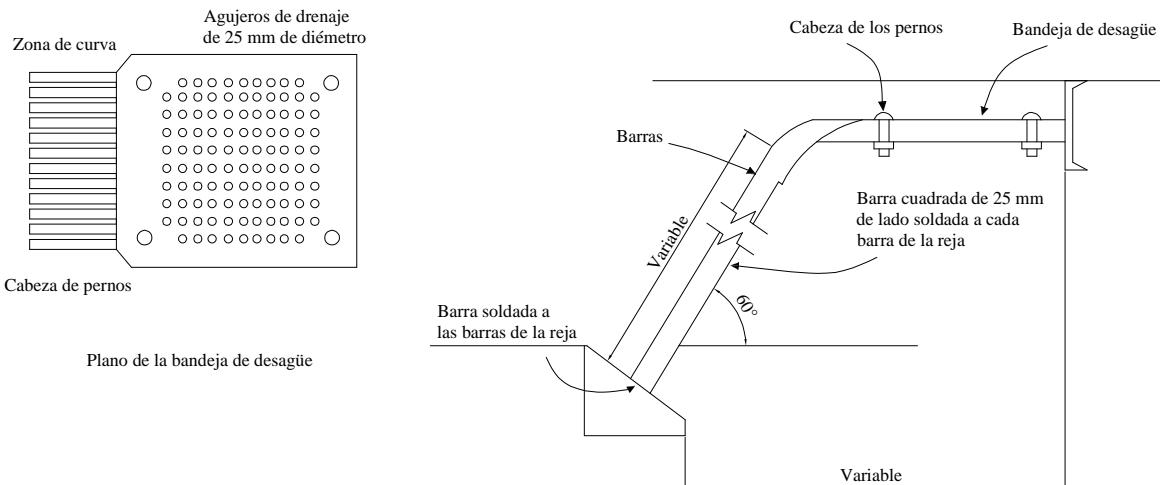


Figura 3.3 Reja de limpieza manual

El canal donde se coloca la reja debe ser recto y perpendicular a ella, para tener una distribución uniforme de los sólidos en la sección transversal al flujo y sobre la reja. Se debe proporcionar una superficie de reja suficiente para la acumulación de basura entre los tiempos de limpieza.

La velocidad límite en este trayecto debe ser de 0.45 m/s para evitar que los sólidos más pesados sedimenten en este canal.



Rejas de limpieza mecánica. Son rejas manufacturadas por empresas especializadas, su limpieza puede ser por la parte anterior o posterior de ella, dependiendo del modelo. El modelo de limpieza frontal tiene problemas cuando los sólidos se aglomeran obstruyendo el mecanismo que se encuentra ubicado frente a la reja. En cambio los modelos con limpieza por la cara posterior, fueron ideados para eliminar los atascamientos debidos a obstrucciones al pie de la reja.

Las rejas con sistema de limpieza mecánica tienen una pendiente de 60° respecto a la vertical, puesto que de esta forma, el rastrillo de limpieza que se desliza sobre las barras, disminuye la probabilidad de obstrucción.

Los rastrillos pueden estar montados en cadenas sin fin o accionados por medio de varillas con movimiento ascendente cuando la varilla desciende.

Los sólidos recolectados en las rejas son triturados e incorporados al agua residual para su eliminación en los posteriores tratamientos, o se comprimen con prensas para incinerarse o enterrarse.

Parámetros de diseño. El diseño de las rejas y rejillas depende de las características de los materiales a eliminar y al sistema de limpieza.

En las rejas de limpieza manual con rastrillo, el caudal medio visible debe obtener una velocidad entre 0.3 - 0.75 m/s. la forma de las barras dependerá de su longitud y de la carga de deberá soportar tanto de las aguas como de la limpieza. El diseño debe ser en función del dimensionamiento del sistema. La cámara de la reja debe ser de longitud suficiente para evitar la formación de remolinos cerca de la reja y además para que no haya sedimentación de partículas, tener unas dimensiones que eviten velocidades inferiores de 0.6 para aguas que contienen arenillas y 0.3 para otros tipos de sólidos de menor densidad.

Un procedimiento para el diseño de las rejillas es el siguiente:

- 1.- Con el gasto de diseño y la velocidad mínima recomendada calcular el área libre al paso del agua ($A_L=Q/V$).
- 2.- Proponer el tirante del agua en el canal (h).
- 3.-Calcular la suma de las separaciones entre barras ($b_g=A_L/h$).
- 4.-Proponer las características del emparrillado: espesor (S) y separación entre barras (e).
- 5.-Calcular el ancho del canal con la expresión.

$$b = \left(\frac{b_g}{e} - 1 \right) (s + e) + e$$

Donde:

b = ancho del canal, mm.

b_g = suma de las separaciones entre barras, mm.

e = separación entre barras mm.



Velocidad. La velocidad (V) a través de las rejillas no debe ser ni muy baja para prevenir caídas de presión excesivas, ni muy alta para no forzar el paso de la materia cribada a través de las barras. Los valores aceptados son de 60 cm./seg. de flujo normal (promedio) y de 90 cm./seg. de flujo máximo. Esta velocidad está en función del canal y del área efectiva de paso en la rejilla, medidos desde el fondo del canal hasta la superficie del líquido.

$$\text{Área efectiva } A = Q/V$$

V = velocidad de flujo en m/seg.

Q = gasto de diseño en m³/seg.

A = área proyectada de las aberturas en m².

La elevación entre el fondo del canal de la rejilla y el fondo del canal de entrada (H), se hace de 8 a 15 cm. aproximadamente, para contrarrestar la caída de presión a través de la rejilla. Con el área efectiva necesaria, basada en el flujo y la velocidad, se puede dimensionar el canal para acomodar la rejilla, seleccionando anchura y profundidad apropiadas. Para obras pequeñas se elige una profundidad de 0.4 m.

El canal deberá ser recto, con una velocidad de flujo promedio de 45 cm/seg. El tirante de agua se debe mantener tan bajo como sea posible para evitar pérdidas de carga.

El ángulo de inclinación en rejillas con limpieza manual, generalmente es de 30 a 60° de la posición horizontal; con limpieza mecánica se instalan con ángulos mayores.

Longitud de las rejillas. La longitud se calcula para tener 25 cm. arriba del nivel máximo del agua.

Material de las barras. Comúnmente se emplean soleras de acero.

En lo que concierne al diseño de rejas con limpieza mecánica; puesto que éstas son fabricadas por empresas especializadas, el proyectista solamente deberá elegir el tipo de rejas, las dimensiones del canal, el intervalo de variación de la profundidad del flujo en el canal, la separación de las barras y el método de limpieza de la reja.

Rejillas.

Las rejillas son equipo de cribado, similar a las rejas, y su función es también la de separación de sólidos, la diferencia es su tamaño de abertura, la cual es más pequeña (1.5-5 cm.) que la que tienen las rejas (5-10 cm.).

Estas son usadas en los casos en que se requiera separar materia más fina de la que pueden separar las rejas. Pueden ser usadas en combinación con las rejas en caso de que sea necesario.

Tamices

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



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

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

En algunas plantas de tratamiento de agua municipal, se han utilizado este tipo de tamices, colocados para la protección de las boquillas de los filtros percoladores. También se han utilizado en plantas industriales para el tamizado de las aguas residuales de fábricas de envasado, conservas, curtidos, papelería, textiles, etc.

Trituración o desmenuzado

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

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

Estos equipos son fabricados por compañías especializadas, siendo la Chicago Pump. Co. la que desarrolló el primer modelo.

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

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

3.2.2 Desarenadores

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



Su forma es generalmente la de grandes canales, la velocidad de la corriente en ellos disminuye lo suficiente (0.3 m/s) para que los sólidos orgánicos pesados se depositen, manteniéndose en suspensión los sólidos orgánicos ligeros e inorgánicos finos (menores de 0.2 mm.).

La limpieza de los desarenadores puede ser en forma manual o mecánica, para este último tipo, son usados rastrillos o cangilones estando en operación el desarenador.

- Desarenadores de circulación horizontal o cámaras simples.
- Desarenadores de circulación vertical ascendente o con aereación.

Desarenadores de cámaras simples

Los desarenadores de cámaras simples son los más utilizados para las aguas residuales industriales, pues son de fácil construcción y mantenimiento. Están formados por atarjeas de poca profundidad, con velocidad de circulación de 0.3 m/s. Los tiempos de retención son entre 20-60 segundos.

Las cámaras simples son canales rectangulares donde se controla la velocidad del agua para permitir la sedimentación de las arenas hasta el fondo del canal, y dejar que los sólidos orgánicos ligeros pasen a las siguientes unidades de tratamiento.

Las cámaras desarenadoras utilizan el principio de la sedimentación diferencial. Por medio del control de la velocidad del flujo de las aguas residuales es posible controlar el tamaño y la densidad de las partículas a remover. La práctica indica que la remoción de partículas de 0.2 mm. de diámetro o mayores, con una gravedad específica de 2.65, le dan una protección adecuada al equipo. Para su remoción es necesario proporcionar suficiente tiempo de retención para que las partículas se asienten desde la superficie hasta el fondo.

En este tipo de sedimentadoras, el flujo atraviesa el desarenador en dirección horizontal, controlando la velocidad rectilínea del flujo por medio de las dimensiones de la instalación o el uso de secciones de control provistas de vertederos especiales situados en el extremo de aguas bajo del tanque.

En la figura 3.4 se muestra el diseño de una cámara desarenadora de flujo horizontal. La fig. (a) con el corte transversal y la figura (b) con la instalación de una doble cámara.

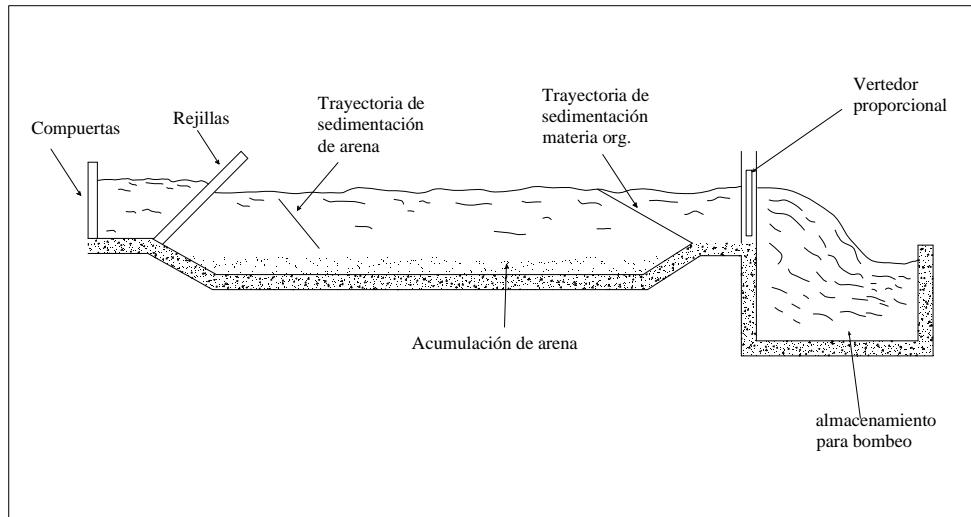


Figura 3.4(a) Cámara desarenadora

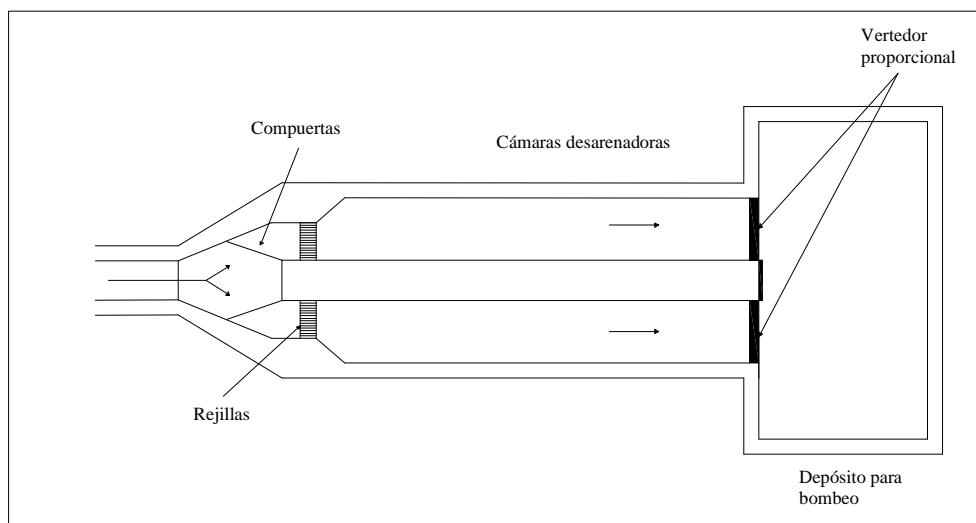


Figura 3.4 (b)

El diseño de este tipo de desarenadores debe ser de tal forma que bajo las condiciones más adversas, la partícula más ligera de arena alcance el fondo del canal antes de llegar a la salida.

La longitud del canal se diseña en función de la profundidad requerida para tener la velocidad adecuada de sedimentación y la sección de control. Deberá usarse una longitud adicional máxima de 50% de la longitud teórica para prever la turbulencia producida a la entrada y salida del desarenador.



Normalmente los desarenadores se diseñan para la eliminación de partículas retenidas en malla 65 (0.21 mm de diámetro). Son recomendables velocidades de 1.1 m/min para partículas de malla 65 y de 0.75 m/min para las de malla 100 (0.5 mm de diámetro).

La velocidad de sedimentación está en función de la temperatura, como ejemplo tenemos algunos datos de velocidad y temperatura para partícula de 0.2 mm de diámetro o mayores, con una gravedad específica de 2.65.

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

Control de la velocidad. Este control se puede lograr mediante una nueva área en la sección transversal del canal, ya sea empleando un vertedor proporcional o un canal Parshall instalado corriente abajo de la cámara.

Algunas características de estos dispositivos son las siguientes: el vertedor proporcional favorece el control de la velocidad que se dispone de carga hidráulica suficiente. El canal Parshall no necesita mucha carga como los vertedores, pero se quiere mayor espacio y su costo también es mayor.

Vertedor proporcional. El principio básico del vertedor proporcional es que el gasto a través de él varía directamente, esto es, que el control de flujo va directamente relacionado con la forma del vertedor.

El vertedor debe mantener la velocidad constante a 30 cm./seg. en el canal desarenador.

Las ecuaciones de diseño son:

$$Q_{ME} = 2.74\sqrt{ba}(h - \frac{a}{3})$$

Despejando b

$$b = \left(\frac{Q_{ME}}{2.74(h - \frac{a}{3})} \right)^2$$



La función del vertedor es garantizar la velocidad. Para poder utilizar la formula antes descrita es necesario convertir los datos de diseño al sistema inglés.

Donde:

Q = Gasto de diseño (pies³/seg.)

I = Ancho del canal (pies)

h = Altura del vertedor (pies)

Para dimensionar el vertedor se propondrán diferentes tirantes para poder encontrar la longitud correspondiente a cada uno de los tirantes propuestos.

$$l = a$$

$$k = lh^{\frac{1}{2}}$$

$$l = \frac{Q}{7.5h^{\frac{3}{2}}}$$

$$lx = \frac{k}{h^{\frac{1}{2}}}$$

h (m)	h (pies)	lx (pies)	lx (m)

Diseño de cámaras desarenadoras

Los parámetros que se deben tomar en cuenta para su diseño, son:

V = Velocidad de flujo, 30 cm./seg.

V_f = velocidad de sedimentación de las arenas, 2.7 cm./seg. (para 20°C y partículas con 0.2 mm de diámetro y $p = 2.65$). $tr = h/V_f$

A = área hidráulica de la cámara, $A = Q/V$

H = tirante hidráulico. $H = 1.5W$

W = ancho de la cámara, 0.6 m (mínimo recomendable). $W = (a / 1.5)^{1/2}$

L = largo teórico de la cámara, $L = trV$

Para efectos de limpieza y mantenimiento se deben considerar dobles cámaras desarenadoras.



Desarenadores aereados

Los tanques aereados cuentan con dispositivos de aeración para provocar, mediante el control de la cantidad de aire inducido, que se mantenga en suspensión la materia orgánica y sedimenten las arenas. Estas unidades requieren de compresores de aire y equipo asociado, cuyas características y especificaciones son proporcionadas por los proveedores

Están formados por tanques de sección transversal semejantes a la proporcionada para la circulación en espiral de los tanques de aereación en los lodos activados, teniendo un canal de 0.9 m de profundidad, con paredes laterales inclinadas que se encuentran a lo largo del depósito abajo de los difusores de aire, situados a 0.45-0.60 m sobre el fondo.

La velocidad de la rotación transversal o la agitación determina el tamaño de las partículas de peso específico que serán eliminadas. Si la velocidad es grande, la arena se saldrá del tanque y si es pequeña, la materia orgánica sedimentará junto con la arena. Por tales motivos, se debe ajustar la cantidad de aire para eliminar el 100% de arena lavada.

El agua residual se introduce transversalmente al tanque, siguiendo una trayectoria helicoidal, pasando 2 a 3 veces por el fondo.

La eliminación de la arena se hace en forma mecánica empleando cucharas de mordazas, transportadores de cadena de cangilones, transportadores de tornillo helicoidal, transportadores tubulares, bombas de chorro y elevadores de aire.

Flotación

La tecnología convencional de los sistemas de flotación para la separación de aceites y sólidos en suspensión en agua fueron desarrollados originalmente por la industria del petróleo. Para tratar las aguas residuales de la industria del petróleo se emplean tres tipos de separadores: API, PPI Y CPI.

La función principal de los separadores API (siglas de American Petroleum Institute) es separar el aceite libre del agua residual, pero como no es capaz de separar sustancias solubles ni de romper emulsiones, nunca debe emplearse en dichas funciones. Sin embargo, lo mismo que en cualquier otro equipo de sedimentación, a la vez que el aceite se separa, se decantan los sólidos en suspensión. El diseño de separadores agua-aceite se basa en la velocidad ascensorial de partículas esféricas de aceite de un diámetro de 0.015 cm. Para este tamaño de partículas el número de Reynolds es inferior a 0.5 y hay que aplicar la ley de Stokes.

La tecnología avanzada ha mejorado el grado de depuración mediante separadores de agua-aceite más eficaces, PPI y CPI; y las unidades de flotación con aire.



En los separadores PPI (Parallel Plate Interceptor) las mejoras corresponden a la incorporación de placas paralelas inclinadas en los canales de un separador API convencional. De esta manera se consigue la separación de partículas de aceite menores de $150 \mu\text{m}$. un rendimiento mayor, menos espacio y un costo menor que en el caso de un separador API.

El separador (CPT ,Corrugated Plate Interceptor) representa un perfeccionamiento del PPI, emplea lamas corrugadas con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal en la dirección del flujo de agua residual.

Además de las ventajas del PPI sobre el API, el CPI resulta más económico que el primero y los rendimientos en la separación de aceite son mayores.

Los sistemas de flotación con aire a presión permiten separar partículas sólidas o líquidas de baja densidad de la fase líquida: La separación se logra introduciendo burbujas de un gas en la fase líquida (usualmente aire). La fase líquida se presuriza entre 2-4 atmósferas, en presencia de suficiente aire para lograr la saturación de aire en el agua. Entonces el líquido saturado de aire se despresuriza a la presión atmosférica mediante una válvula reductora de presión. Diminutas burbujas de aire se liberan de la solución debido a la despresurización. Los sólidos suspendidos o las partículas líquidas, como por ejemplo, de aceite, flotan por efecto de las diminutas burbujas de aire, ocasionando que se eleven hacia la superficie del tanque.

Los sólidos suspendidos concentrados se separan como natas de la superficie del tanque, por medios mecánicos. El licor clarificado se drena cerca del fondo y parte de él se puede recircular.

En el tratamiento de las aguas residuales, la flotación se emplea para los siguientes propósitos:

- 1) Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad, de las aguas residuales.
- 2) Espesamiento de lodos de los procesos de lodos activados, y
- 3) Espesamiento de lodos químicos floculados, que resultan del tratamiento de coagulación química.

3.3 TRATAMIENTO PRIMARIO¹

Uno de los puntos importantes en el tratamiento de las aguas residuales es disminuir el contenido de sólidos y lograr las condiciones adecuadas para el tratamiento secundario. Esto hace que los costos de construcción y operación de las plantas de tratamiento disminuyan considerablemente. Con estos fines se aplican los procesos de homogenización, neutralización- y sedimentación.



La homogenización y la neutralización de las aguas residuales en el tratamiento primario permiten tener un tipo de aguas residuales homogéneas y con condiciones físico-químicas de pH, temperatura, carga orgánica, etc. adecuadas para los tratamientos posteriores.

En algunas industrias el tratamiento de las aguas residuales deben tener estos procesos, como en el caso de industrias con diversos procesos de producción, los cuales generan diferentes tipos de aguas residuales, unos con más carga orgánica, otros con metales pesados, otros con pH elevado, o con pH ácido, etc., en tales casos, estos efluentes serían un problema para la planta de tratamiento. Para evitarlo es necesario efectuar una homogenización de la descarga general de la industria por medio de tanques homogenizadores, con los cuales se equilibra la carga de contaminantes para lograr un efluente uniforme y condiciones más adecuadas para la mejor eficiencia de los procesos de tratamiento.

Los tanques de homogenización también se aplican en el caso de aguas residuales con flujos discontinuos, es decir, cuando las industrias no laboran al mismo ritmo las 24 horas o los fines de semana, ocasionando variaciones importantes de flujos durante el día o los días no laborables.

En otros casos el problema son las descargas con condiciones de pH muy alcalino o bastante ácido, con lo que los tratamientos secundarios disminuirían su eficiencia, por lo cual es necesaria su neutralización antes de llegar a esos procesos.

3.3.1 Homogenización

La homogenización es una operación unitaria que tiene como finalidad uniformar el flujo, la carga de contaminantes y las condiciones físico-químicas (pH, temperatura, etc.) de las aguas residuales en la planta de tratamiento.

Esta operación se aplica cuando se tienen las siguientes situaciones:

- Para amortiguar variaciones de flujo de varias descargas, de manera que se tenga una corriente compuesta con un flujo relativamente constante en la planta de tratamiento.
- Cuando se tienen variaciones en la DBO de la descarga.
- Para propósitos de neutralización, incluyendo el mezclado de los desechos ácidos y alcalinos en el tanque.

La homogenización se realiza en tanques de retención, los cuales dependiendo de su tipo de operación se clasifican en: tanques de nivel constante y tanques de nivel variable.

Tanques de nivel constante.

En este caso el nivel del tanque, como se ilustra en la figura 3.5, se mantiene constante. De tal manera que la variación en la tasa de flujo en el influente se ve reflejada en la variación del efluente. Por lo tanto esta técnica no se emplea para mantener un flujo homogéneo, es simplemente un método de neutralización. Si las variaciones de la tasa de flujo son demasiado grandes, el efluente del tanque de nivel constante necesitará pasar a otro tanque que tenga como objetivo homogenizar el flujo.

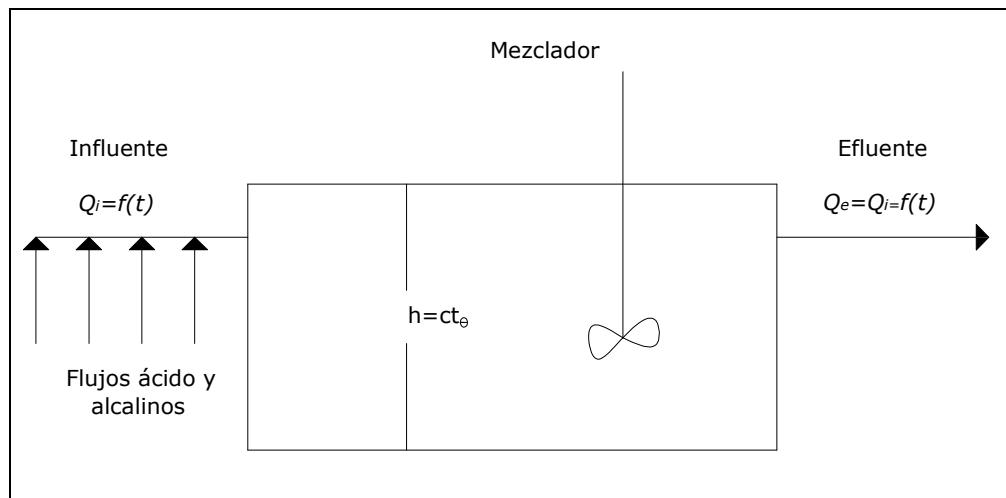


Fig. 3.5 Tanque de nivel constante

Tanque de nivel variable.

En este sistema de homogenización, el efluente sale con una tasa constante, y puesto que el flujo de entrada es variable, el nivel del tanque es también variable. Este método es usado tanto para homogenización de flujo como para neutralización. En la Figura 3.6 se muestra un diagrama de este tipo de tanques.

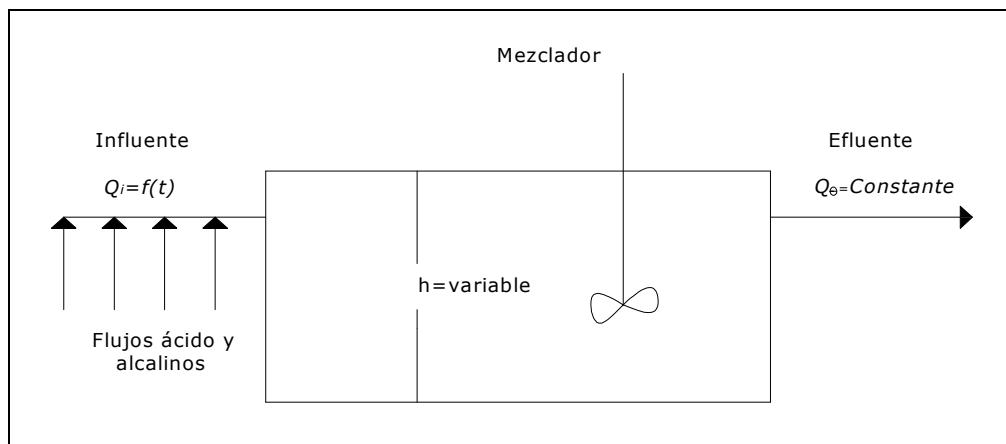


Fig. 3.6 Tanque de nivel variable

Otros sistemas de homogenización consisten en derivar el exceso del influente a un tanque de retención del cual se pasa un flujo de alimentación al tanque de homogenización. Este método no se usa para neutralizar, únicamente se aplica para homogenizar la DBO ó la tasa de flujo. Se ilustra en la figura 3.7

Los tanques de homogenización se emplean regularmente para: homogenización de flujo y de carga orgánica.

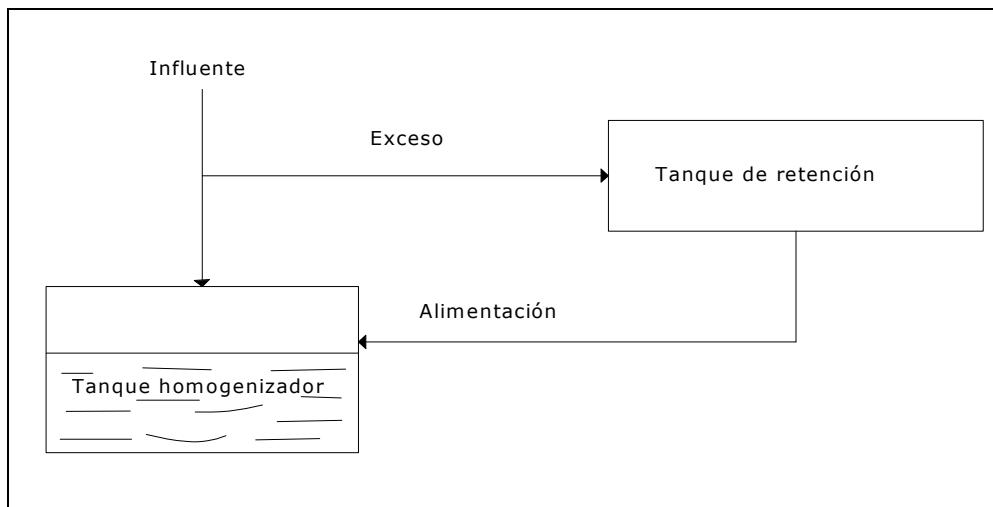


Fig. 3.7 Homogenización con un tanque de retención

Procedimiento para tanques de nivel variable

La homogenización de flujo se puede realizar por medio de tanques de nivel variable. El diseño de un tanque de nivel variable requiere de un estudio del flujo y volumen de las descargas a tratar.

El procedimiento para la obtención de los datos necesarios para el diseño de un tanque variable es el siguiente:

- 1) Determinar el flujo de las descargas, para conocer el patrón de flujo diario de las aguas residuales que se van a tratar.
- 2) Con los datos de flujo instantáneo se construye una gráfica de flujo instantáneo contra tiempo, (por un período de 24 horas) Figura 3.8
- 3) Determinar el volumen total diario de agua residual que se va a tratar.
- 4) Calcular el flujo promedio en l/min.

5) Hacer una gráfica del volumen acumulado contra el tiempo (de 0 a 24 h) Fig. 3.9. En esta gráfica la línea recta (a) que une el punto cero con el flujo máximo acumulado a las 24 h, representa la tasa constante del efluente homogéneo que sale del tanque (el volumen acumulado del efluente contra el tiempo). La curva (b) representa el flujo del influente acumulado en el tanque contra el tiempo. La curva (e) representa la diferencia entre los valores de la recta (a) y la curva (b).

La máxima diferencia positiva entre la recta (a) y la curva (b) representa el nivel mínimo que llegará a tener el tanque. Así mismo la máxima diferencia negativa entre (a) y (b) representa el nivel máximo de agua que llegará a tener el tanque. De esta manera se sabe cuales son los niveles máximos y mínimos del agua en el tanque y el tiempo en que se presentan cada uno.

El Valor que corresponde a la curva (c) en el tiempo cero indica el volumen del agua que deberá tener el tanque al iniciar la operación (tiempo cero), de tal manera que en el momento más desfavorable el nivel más bajo que se tenga sea cero, pero nunca valores negativos.

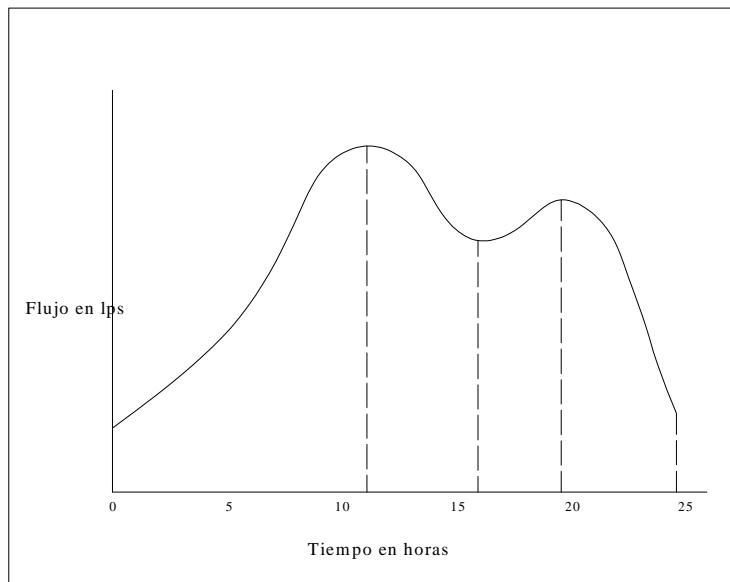


Fig. 3.8 Variación diaria del gasto en la descarga de una industria.

El valor máximo de la curva (c) representa el volumen mínimo que deberá tener el tanque de almacenamiento. Este valor es equivalente a la suma de las diferencias máxima positiva y la máxima negativa entre el flujo acumulado del efluente (a) y el flujo acumulado del influente (b). En la práctica la capacidad del tanque debe incluir un volumen de seguridad (al menos 10% del volumen calculado) para evitar que su nivel llegue a cero.

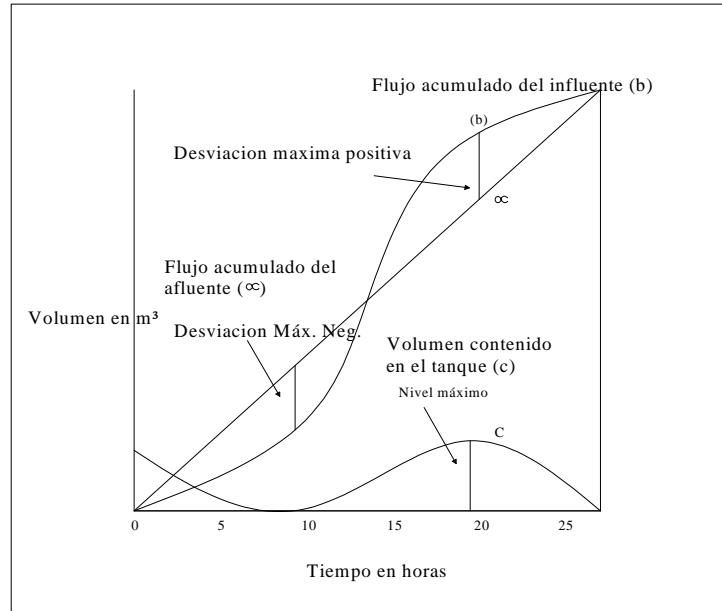


Fig. 3.9 Variación de flujo acumulado.

3.3.2 Neutralización³.

Las aguas residuales de un gran número de industrias son alcalinas ó ácidas, entre estas industrias destacan las de productos químicos, pulpa y papel, metalúrgicas, de galvanoplastía, textiles, hulera, carbón mineral, películas fotográficas, embotelladoras de refrescos, artículos de cuero y enlatadoras.

En este tipo de aguas residuales es importante efectuar una neutralización antes de pasar a los tratamientos secundarios de la planta de tratamiento, para lograr una mayor eficiencia de estos sistemas.

La neutralización en el tratamiento de las aguas residuales se aplica en los siguientes casos:

- Antes de descargar las aguas residuales a los cuerpos de agua receptores, para evitar el deterioro de la vida acuática, ya que ésta es sensible a las variaciones de pH cercanas a 7 (6.5-7.0 Y 7.0-8.5).
- Antes de descargar las aguas residuales industriales al drenaje municipal, puesto que resulta más económico neutralizarlas antes, que después neutralizar el efluente total combinado con las demás residuales (domésticas e industriales). Generalmente se tienen especificaciones del pH que deben tener las descargas que van al drenaje municipal para evitar problemas en las plantas de tratamiento.



Antes de los tratamientos químicos o biológicos. En los tratamientos biológicos el pH se debe mantener en un rango de 6.5 a 8.5 para optimizar la actividad biológica. El proceso biológico en sí mismo proporciona una neutralización o una capacidad amortiguadora del pH como resultado de la producción de CO₂, el cual forma carbonatos y bicarbonatos en solución. El grado de preneutralización necesario para los tratamientos biológicos depende de dos factores: La alcalinidad ó acidez presentes en el agua residual, y la DBO (mg/l) degradada en el tratamiento biológico.

3.3.2.1 *Métodos de neutralización*

Los métodos de neutralización de las aguas residuales más comunes son:

- Homogenización. Este método consiste en mezclar descargas ácidas con alcalinas que estén disponibles en la planta.
- Métodos directos para el control del pH. Se basan en la adición de ácidos o bases para neutralizar las descargas alcalinas o ácidas. Se muestran los métodos directos de la neutralización.

Neutralización de aguas residuales ácidas.

Los métodos más comúnmente empleados para la neutralización de los desechos ácidos son:

- Lechos de piedra caliza.
- Lechada de cal.
- Uso de sosa cáustica (NaOH).

Lechos de piedra caliza

Este es uno de los métodos de neutralización más antiguos (1943). El agua residual se pasa a través de lechos de piedra caliza, con flujo ascendente o descendente. La neutralización se efectúa por la reacción de la cal con el ácido, produciéndose una sal de calcio y bióxido de carbono, la reacción termina cuando a la piedra caliza se le agota la cal activa.

Cuando se trata de aguas residuales que contienen ácido sulfúrico, este debe estar en concentraciones menores de 0.6%, para poder ser neutralizadas por este método, debido a que la reacción de la cal en un exceso de ácido precipita el sulfato de calcio, el cual por su baja solubilidad, llega a cubrir la piedra inactivándola. Además, la alta producción de bióxido de carbono genera problemas de espuma. La reacción de neutralización del ácido sulfúrico con la piedra caliza es la siguiente:



Para este tipo de aguas residuales, se recomienda utilizar columnas de neutralización de flujo ascendente, las cuales ayudan a la remoción del sulfato de calcio formado y la expulsión del bióxido de carbono es mejor.

En los sistemas de neutralización de flujo descendente existen problemas para la expulsión del bióxido de carbono, ya que este se realiza en dirección opuesta al flujo, por esta razón la velocidad hidráulica máxima que se puede trabajar en estos sistemas es de 50 gal/h ft². En este tipo de sistema se puede utilizar recirculación del efluente. En la figura 3.10 se presenta el diagrama de un sistema de neutralización de flujo ascendente. La disponibilidad de piedra caliza puede ser decisiva para emplear este método de neutralización, ésta se debe reemplazar cada cierto tiempo, que depende de la cantidad y calidad del agua residual. Cuando la descarga es extremadamente ácida, llega a formarse espuma, especialmente si contiene materia orgánica. La presencia de metales como fierro y aluminio en el agua residual, reduce la efectividad de la piedra caliza por la precipitación de hidróxidos. Finalmente, si se aumenta la dilución del ácido en el agua residual, se necesita un mayor tiempo de residencia para la neutralización.

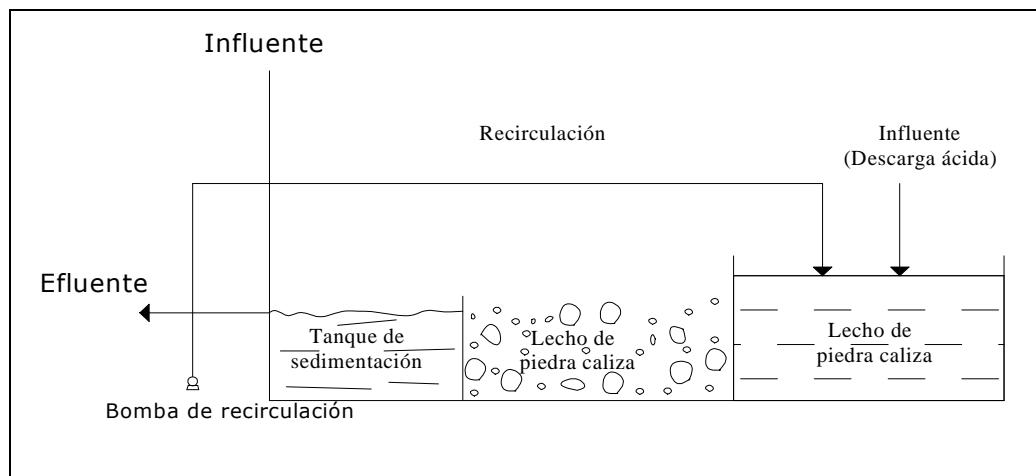
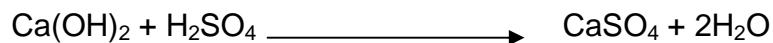


Fig. 3.10 Sistema de neutralización con piedra caliza y flujo ascendente.

Lechada de cal.

Es un método efectivo para la neutralización de los desechos ácidos, la lechada de cal es el reactivo más usado por su bajo costo. La reacción es similar a la que se tiene con lechos de piedra caliza. Normalmente se usa en tratamiento continuo, de modo que los productos de la reacción son arrastrados por el efluente. Los resultados son generalmente eficientes cuando el pH del agua residual es menor de 4.5 para desechos altamente ácidos es conveniente hacer la neutralización en dos etapas, la primera para elevar el pH al valor deseado en el efluente. Algunas veces será conveniente aplicar una tercera etapa.

La reacción de neutralización con lechada de cal es la siguiente:



El control automático del proceso no es simple, debido a que la relación entre el pH y la cantidad de lechada de cal añadida no es lineal, particularmente en la vecindad del punto de neutralización ($\text{pH}=7$). Esto se aprecia mejor en una curva de neutralización de una muestra de agua residual como la de la Figura 3.11.

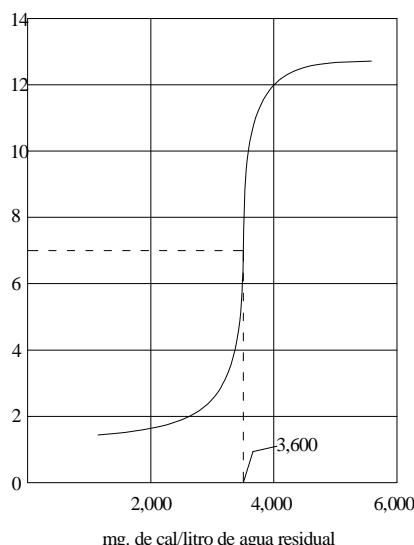


Fig. 3.11 Curva típica de neutralización de un agua residual.

En la vecindad del punto de neutralización el pH es extremadamente sensible a pequeñas cantidades de cal, variando en una operación ordinaria de un sistema de lechada de cal con una tasa de velocidad de una unidad de pH por minuto. También la variación en el flujo de entrada complica la operación del proceso.

Hidróxido de sodio o sosa cáustica.

El hidróxido de sodio (NaOH) y la sosa cáustica (Na_2CO_3) en soluciones concentradas, pueden ser utilizados para la neutralización de las aguas residuales ácidas, obteniéndose resultados rápidos pero con un mayor costo, en comparación con la piedra caliza o la cal.

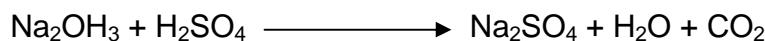
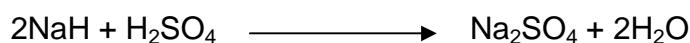
Las ventajas de este método son:

- Se requiere menor cantidad de reactivos que con los otros métodos ya que su poder de neutralización es mayor que la cal y la piedra caliza.

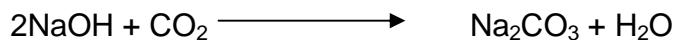


- Los productos de la reacción son solubles y no aumentan la dureza de las aguas que reciben el efluente. Este método es adaptable a pequeños volúmenes con tratamiento intermitente (o batch). Para grandes volúmenes se requiere equipo especial, como tanques de almacenamiento especiales para los reactivos, con bombas de velocidad múltiple para la adición directa del álcali al flujo de los desechos ácidos.

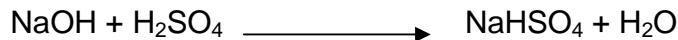
Las reacciones típicas de neutralización con estos reactivos son las siguientes:



Cuando se emplea hidróxido de sodio (NaOH) como neutralización para aguas residuales ácidas carbónicas y sulfúricas ocurren las siguientes reacciones:



La neutralización de desechos con ácido sulfúrico usando hidróxido de sodio da lugar a las siguientes reacciones:



En estas dos últimas reacciones los productos finales dependen del pH final deseado, por ejemplo, en un tratamiento con un pH final de 6.0 se forma NaHSO_4 y con un pH final de 8.0 se tiene Na_2SO_4 .

Factor de basicidad.

El factor de basicidad es un dato importante para elegir un agente neutralizante. Hook proporciona un método para calcular este factor y un nomograma para calcular la cantidad de reactivo necesario por volúmenes de agua residual a tratar. El método consiste en determinar el valor ácido titulando 5 ml de muestra de ácido sulfúrico del desecho con un exceso de NaOH 0.5 N Y titulando HCl 0.5 N hasta el punto de la fenolftaleína.

El factor de basicidad de la cal (agente neutralizante) se determina titulando 1 g de muestra de agente alcalino con un exceso de HCl 0.5 N, hirviendo la muestra por 15 min. y titulando con NaOH 0.5 N a la fenolftaleína.



El valor ácido (línea B) y el factor de basicidad (línea A) se conectan en el nomograma de la figura 7 para encontrar la cantidad de agente alcalino necesario por volumen de desecho ácido.

3.3.3 Sedimentación⁵

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

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

La sedimentación puede efectuarse por cuatro mecanismos principales, de acuerdo a la concentración de sólidos y su tendencia a interactuar entre si:

a) Sedimentación de partículas discretas.

Este mecanismo se presenta en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y hay interacción significativa entre ellas.

b) Sedimentación de partículas floculantes.

En este caso las partículas coalescen o floculan durante la operación de sedimentación. Al coalesce, las partículas aumentan su masa y su tasa de sedimentación.

c) Sedimentación zonal.

Este tipo de sedimentación ocurre en suspensiones de concentración intermedia, donde las fuerzas entre las partículas son suficientes para unir la sedimentación de partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones fijas entre sí y la masa de partículas sedimenta como una unidad.

d) Sedimentación por compresión.

Este mecanismo de sedimentación ocurre cuando las partículas están en tal concentración, que se forma una estructura y la sedimentación ocurre únicamente por compresión de la estructura. La compresión tiene lugar debido al peso de las partículas, el cual aumenta constantemente por la sedimentación de licor sobrenadante. Este tipo de sedimentación ocurre usualmente en las capas bajas de los lodos sedimentados.



La sedimentación debe ser considerada en el tratamiento de los residuos industriales sólo cuando éstos están combinados con descargas domésticas, o contienen un alto porcentaje de sólidos suspendidos sedimentables como en el caso de los residuos de industrias de papel, envasado de alimentos, lavado de cartón, etc.

La sedimentación se realiza en tanques de diversas formas y diseños, los cuales de acuerdo a su diseño y operación se pueden clasificar en:

- Tanques sépticos.
- Tanques de dos pisos (tipo Imhoff).
- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.
- Clarificadores secundarios con eliminación mecánica de lodos.

Los tanques sépticos y los tanques de dos pisos (tipo Imhoff) son utilizados como tratamiento único de las aguas residuales municipales en los cuales los sólidos (suspendidos y sedimentables) se sedimentan y son degradados en el mismo sistema por vía biológica.

Los tanques de sedimentación simple son los que comúnmente se conocen como sedimentadores primarios o clarificadores primarios, los cuales son utilizados en el tratamiento primario de las aguas residuales.

Los clarificadores secundarios son sistemas utilizados en el tratamiento secundario químico para la eliminación de los flóculos formados.

3.3.3.1 Tanques de sedimentación primaria

La sedimentación se lleva a cabo en tanques de forma rectangular o circular, con dispositivos mecánicos de recolección y extracción de lodos.

La eficiencia de los tanques de sedimentación depende en general de los siguientes factores:

- Características de los efluentes.
- Tiempo de retención.
- Tamaño de partículas.
- Profundidad del tanque.
- Temperatura.
- Dispositivos de entrada y salida.
- Velocidad de sedimentación
- Efecto de pared.
- Densidad de partículas.
- Velocidad del viento.
- Fluctuaciones de flujo.



- Pretratamiento.
- Área superficial del tanque.
- Coeficiente de rebosamiento.
- Numero de mamparas.
- Remoción de lodos.
- Operaciones de limpieza.

Son dos los tipos de sedimentadores generalmente usados en las plantas de tratamiento: rectangulares y circulares.

Sedimentadores rectangulares

Los sedimentadores de este tipo están constituidos por tanques de forma rectangular los cuales tienen las siguientes dimensiones:

- Ancho. Los sedimentadores rectangulares generalmente tienen anchos entre 1.5 y 6m. Los anchos mayores a 6m, presentan problemas para mecanismos de remoción de lodos.
- Longitud. El sedimentador rectangular eficiente, debe tener una longitud proporcional a su ancho. Tal relación debe ser tan pequeña como sea posible, se recomienda una relación de 1:3 a 1:5.
- Profundidad. La profundidad no debe ser mayor de 3m. Se considera que los sedimentadores con equipo mecánico para remoción de sedimentos, deben tener una profundidad mínima de 2.1m.

En los sedimentadores rectangulares es importante diseñar adecuadamente los dispositivos de entrada y salida al tanque, para lograr un mínimo de turbulencia y la distribución uniforme del flujo.

Dispositivos de entrada y salida al sedimentador

Estos dispositivos generalmente están constituidos por:

- Tubos de entrada. Estos tubos están distribuidos uniformemente espaciados en el tanque, con codos hacia arriba o descargando horizontalmente contra un deflector.
- Deflectores perforados.
- Escurrimiento sumergido.
- Canal con orificios uniformemente espaciados.
- Vertedor de demásias. Es un dispositivo de salida, generalmente constituido por vertedores triangulares tipo "v" de dientes de sierra, los cuales vierten a un canal que conduce al agua hacia el punto de descarga. La carga sobre el vertedor, deberá restringirse a 185 m³/día m lineal, para prever flujos excesivos.

En la mayoría de los casos, después de los dispositivos de entrada y salida se colocan mamparas, en los primeros para prevenir los circuitos cortos y distribuir el flujo lateral y



verticalmente, y en los segundos para la retención de natas. Las mamparas se instalan aproximadamente de 0.6 a 0.9 m al frente de la entrada, sumergidas de 0.45 a 0.6 m, con el borde a 0.05 cm bajo la superficie del agua, para permitir que las natas pasen sobre ellas.

Las mamparas de retención de natas, se extienden de 15 a 30cm bajo la superficie del agua. Otro factor importante en los sedimentadores es el tiempo de retención, el cual para los sedimentadores rectangulares debe ser de 60 a 180 minutos.

Sedimentadores circulares

Los sedimentadores de este tipo están formados por tanques circulares con las siguientes dimensiones:

- Diámetro. Se debe limitar a diámetros entre 3.6 - 60 m siendo valores típicos 12 a 45m.
- Profundidad. Se recomienda que sea mínimo de 2.1 m. Otros autores mencionan un rango de 3 a 5m.

Los sedimentadores circulares de acuerdo a su alimentación pueden ser de dos tipos:

Sedimentadores de alimentación central.

En este tipo, la alimentación se realiza por medio de un tubo horizontal sumergido desde la pared al centro del tanque, o por un sifón invertido localizado bajo el piso del tanque. Las mamparas de entrada deberán tener diámetros del 10 al 20% del diámetro del tanque y se deberán extender de 0.9 a 1.8 m bajo la superficie del agua.

En la salida del tanque, regularmente se instalan vertedores triangulares en la periferia del tanque, en la parte de enfrente de estos se colocan mamparas con el objeto de retener la nata flotante. Estas mamparas se extienden de 20 a 30cm bajo la superficie del agua.

Sedimentación de alimentación periférica.

En este tipo de sedimentadores las aguas residuales se introducen alrededor de su borde exterior. Las mamparas se extienden a 1 ó 2 m bajo la superficie del agua, para impedir circuitos cortos. La salida del sedimentador está localizada en el centro, estando constituida por un canal circular que conduce las aguas a un punto de descarga.

El tiempo de retención recomendado para este tipo de sedimentadores es de mínimo 1.5 horas.

3.3.3.2 Diseño de sedimentadores

En general, cuando se trata de hacer el diseño de un sedimentador para una descarga de aguas residuales de características particulares, como son los desechos industriales, se deben hacer pruebas de sedimentación en columna, para obtener los datos de



diseño. Dichas pruebas proporcionan los datos del perfil de sedimentación donde se relacionan la profundidad, el tiempo de retención y la eficiencia en la remoción de los sólidos sedimentables, de esta información se calcula la relación entre la carga superficial y el % de remoción de sólidos sedimentables, para el tiempo de retención y la profundidad deseados.

El porcentaje de remoción de sólidos suspendidos está en función de la carga superficial, la cual se expresa como caudal medio diario de aguas residuales dividido entre el área superficial del sedimentador:

Donde $qs = \text{carga superficial } m^3/\text{día } m^2$

$Qm = \text{caudal medio, } m^3 / \text{día}$

$As = \text{área superficial, } m^2$

$qs = Qm / As$

Se recomienda que la carga superficial no exceda de $24 \text{ m}^3/\text{día } m^2$ para flujos menores de $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ y para flujos mayores no exceda de $32 \text{ m}^3/\text{día } m^2$. Otro factor de diseño importante es el tiempo de retención, el cual se proyecta de 90 a 150 minutos, para caudales medios de agua residual, dependiendo del tipo de agua que se trate y las pruebas de laboratorio previas al diseño.

En el caso de los sedimentadores primarios que sean usados antes de un tratamiento secundario biológico, podrán ser diseñados con tiempos de retención menores (30-60 minutos) y cargas de superficie mayores de las usadas comúnmente en los tanques de sedimentación que son utilizados como único tratamiento.

Ejemplo de una prueba de sedimentación.

El siguiente es un ejemplo típico de una prueba de sedimentación en columna, para esto se requiere de una columna con una altura de 8 pies (2.40 m), y puertos de muestreo a los 2, 4 Y 6 pies.

El procedimiento que se sigue consiste en:

- 1) Llenar la columna con agua residual manteniendo una concentración uniforme de sólidos suspendidos a lo largo de la columna al inicio de la prueba.
- 2) A tiempos predeterminados se toman muestras de cada puerto y se miden las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST).
- 3) Se calcula el porcentaje de sólidos suspendidos en cada muestra (SST), con respecto a la concentración inicial SST₀.

Fracción de sólidos remanentes en suspensión para cada muestra:

Muestra:

$$x = SST / SST_0$$

En porcentaje: $y = SST/SST_0 (100)$



Fracción de sólidos removida:

$$1 - x$$

En porcento: $z = 100 - y$

Los datos de porcentajes de remoción calculados en el laboratorio se muestran en la siguiente tabla.

Tiempo (min)	Profundidad de muestreo en la columna (pies)		
	2	4	6
5	41	19	15
10	55	33	31
20	60	45	38
40	67	58	54
60	72	62	59
90	73	70	63
120	76	74	71

Fig. 3.12 Tabla porcentajes de remoción

4) Los datos de porcentajes de remoción de la tabla se grafican para construir el perfil de sedimentación. En este se tienen los porcentajes de sedimentación con respecto a la profundidad de la columna y al tiempo de retención.

En las ordenadas se indica la profundidad desde el nivel del agua hasta el fondo de la columna de cero a 6 pies. En las abcisas se indica el tiempo en minutos desde el inicio de la prueba en que se toma la muestra para la determinación de la concentración inicial de sólidos SST₀. Los datos de la de porcentajes de remoción se indican en la gráfica, haciendo corresponder los valores de % de SST removidos para cada una de las profundidades a los diferentes tiempos. A partir de estos valores se dibujan las líneas de % de remoción.

5) A partir de la figura 6.12 se puede elegir una profundidad para el tanque de sedimentación y continuar con los cálculos de la siguiente manera.

Para una profundidad de 6 pies.



Se calculan la velocidad de sedimentación, el % de remoción y la carga superficial para cada tiempo. Por ejemplo, para 23 minutos y 6 pies de profundidad, la velocidad de sedimentación V_s es igual a:

$$V_s = H/t$$

Donde H es la profundidad a la cual se tomó la muestra y t es el tiempo en que fue tomada.

$$V_s = (6 \text{ pies}) (60 \text{ min}) / (23 \text{ min}) \text{ hora} = 15.6 \text{ pies / hora}$$

El porcentaje total de remoción de sólidos para 23min y 6pies, se calcula tomando el % de remoción a la profundidad de 6pies y se suman los porcentajes que corresponden a intervalos de 10 hasta llegar a la profundidad cero. Así se tiene:

Porcentaje de remoción de sólidos:	%
100 % de remoción del 40 %	40%
1er. intervalo 4.216 (10)	7.0
20. intervalo 2.3/5 (IO)	3.8
3er. intervalo 1.3/6 (IO)	2.3
40. intervalo 0.5/6 (IO)	0.9
Remoción total para 23 min.	54.0%

La carga superficial es en galones por día por pie cuadrado se calcula a partir de la velocidad de sedimentación V_s

Siendo: $C_s = V_s (\text{pies/h} \times 24 \text{ h / día} \times 7.48 \text{ gal/ pie}^3)$

$$C_s = 179.5 V_s$$

Para 23 minutos tenemos:

$$V_s = 15.6 \text{ pie/h}$$

$$C_s = 179.5 \times 15.6$$

$$C_s = 2800 \text{ gal/día/pie}^2$$

De esta manera se calculan los valores correspondientes a cada tiempo, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.13:



Tiempo (min)	Vs (pie/h)	% remoción de SS	CS (gdp/pie ²)
5	72.0	33	12,950
7	51.5	34	9,300
9	40.0	39	7,200
23	15.6	54	2,800
38	9.5	62	1,710
63	5.7	69	1,025
116	3.1	72	560

Fig. 3.13

6) Con los resultados de la Tabla 3.13 se grafican los valores de % de remoción contra carga superficial. Así mismo se grafican el % de remoción de sólidos suspendidos contra el tiempo de sedimentación.

Aplicación.

Diseñar un tanque de sedimentación primaria para obtener una concentración máxima de sólidos suspendidos de 100 mg/l, si la descarga de aguas residuales tiene un caudal de 2.0 MGD y una concentración inicial de sólidos suspendidos de 300 mg/l. Suponiendo que la prueba de sedimentación en columna proporcionó los resultados anteriores, se tiene:

1) El porcentaje de remoción requerido es

$$\% = (300-100) (100)/300 = 66.6\%$$

2) De la Figura 6.13 la carga superficial teórica es 1200 gpd/pie². Usando el factor de 1.5 tenemos:

$$CS = 1200/1.5 = 800 \text{ gpd/pie}^2$$

3) De la Figura 6.14 el tiempo de retención teórico para una remoción del 66.6 % es 50 min. Usando un factor 1.75 se tiene:

$$Tr = (50) (1.75) = 88 \text{ min.} = 1.5 \text{ h.}$$

4) El área superficial requerida será:

$$[(2) (106 \text{ gal/día}) (\text{día pie}^2) / (800 \text{ gal})] = 2500 \text{ pie}^2$$

5) Si se desea un clarificador circular el diámetro será:

$$d = (2500/0.785)^{1/2} = 56.5 \text{ pies.}$$



3.4 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario es el proceso complementario de la depuración de las aguas residuales, consiste en una serie de operaciones y procesos químicos y/o biológicos al que son sometidos los efluentes del tratamiento primario.

Durante el pretratamiento y el tratamiento primario de las aguas residuales se separa principalmente una gran parte de los sólidos suspendidos y sedimentables; aquellos que fueron retenidos por los sistemas de rejillas, desarenadores, trituradores y los que tuvieron la capacidad de sedimentar en el tiempo de retención límite de los sedimentadores primarios. Así, tenemos que los efluentes de un tratamiento primario, contienen aún sólidos suspendidos finos, sedimentables (principalmente coloides) y solubles, los cuales deben ser separados para obtener un agua apropiada para su disposición final en los cuerpos receptores.

El tratamiento secundario agrupa los procesos y operaciones unitarias, capaces de eliminar de los efluentes primarios, los sólidos que aún contienen.

Los procesos utilizados en el tratamiento secundario se clasifican en: fisicoquímicos y biológicos.

3.4.1 Tratamiento fisicoquímico

El desarrollo industrial que surgió después de la segunda guerra mundial, generó una diversidad de residuos industriales que era necesario tratar para recuperar subproductos y disminuir la contaminación de las aguas, esto propició el desarrollo de los procesos fisicoquímicos para el tratamiento de las aguas residuales; muchos de ellos enfocados al tratamiento de substancias contaminantes específicas como son los metales, fosfato, nitrógeno y compuestos orgánicos sintéticos.

El tratamiento químico se usó ampliamente en los Estados Unidos, en los años de 1890 y a principios de los 1900; pero con el desarrollo del tratamiento biológico, se abandonó el uso de reactivos químicos. A principio de 1930 se desarrollaron nuevos métodos de tratamiento químico y se instalaron un buen número de plantas. A partir de 1970 se tuvo un renovado interés en usar el tratamiento químico lo cual originó el desarrollo de nuevos procesos.

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



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

Los procesos fisicoquímicos involucran las operaciones unitarias y los procesos de precipitación química, coagulación química, floculación y sedimentación o filtración.

3.4.2 Precipitación química

La precipitación química descubierta en 1762, se comenzó a aplicar en Inglaterra en 1870 como un método de tratamiento de aguas residuales, usando cal como precipitante en la mayoría de los casos, algunas veces sola y otras combinadas con cloruro de calcio o de magnesio, aluminio, sulfato ferroso, carbón, etc.

En general, la precipitación química involucra la adición de reactivos químicos específicos para eliminar las substancias disueltas en el agua en su estado natural con el fin de potabilizarla, o para separar los contaminantes en aguas residuales.

En la precipitación química se separan las substancias disueltas del agua o agua residual por medio de productos químicos solubles, los cuales al agregarse al agua, son liberados y sus iones reaccionan con los iones existentes en ella, formando precipitados.

En el pasado la precipitación química se ideó para ayudar a la remoción de los sólidos suspendidos y de la DBO en los siguientes casos:

- Cuando se tuvieran variaciones estacionales en la concentración de los desechos.
- Cuando se necesitara un grado de tratamiento intermedio.
- Como un auxiliar para el proceso de sedimentación.

Más recientemente (1970), la precipitación química ha tenido un interés renovado por las aplicaciones siguientes:

Se puede usar eficazmente para la remoción de fósforo de los efluentes de las plantas de tratamiento biológico de aguas residuales.

- Combinado con adsorción con carbón activado se logra un tratamiento completo, pudiéndose aplicar a los casos de aguas residuales que contengan compuestos orgánicos resistentes al tratamiento biológico.
- La floculación del fierro por medio de cal añadida al agua o agua residual.



- La precipitación del hierro y manganeso por oxidación con oxígeno disuelto en el agua suministrado por aereación.
- El ablandamiento del agua por adición de cal, precipitando la dureza de carbonatos y de carbonato de sodio para precipitar la dureza de no carbonatados.
- La precipitación de floruros del agua por adición de fosfato tricalcico, o por la coprecipitación con los iones de magnesio en el ablandamiento de aguas.

En los procesos fisicoquímicos se emplean muy diversas substancias como precipitantes. Los más comunes se presentan en la Tabla 1. El grado de clasificación obtenida depende de la cantidad del reactivo usado y del cuidado con que se controle el proceso.

Es importante aclarar que cuando se añaden compuestos químicos para tratamiento del agua, comúnmente se utiliza el término de precipitación química indistintamente si se trata de una precipitación o coagulación, originando en algunas ocasiones confusión de terminología. Sin embargo, conociendo las definiciones de uno y otro término, se puede diferenciar, en que casos se aplica precipitación, coagulación o ambas a la vez.

Productos químicos usados para la precipitación química de las aguas residuales

Producto químico	Fórmula química	Peso molecular
Sulfato de alúmina	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	666.7
Sulfato de fierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278.0
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	98.0
Anhidrido sulfuroso	SO_2	64.0
Cloruro férrico	FeCl_3	162.1
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	400.0
Cal (apagada)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	94.0
Cal (viva)	CaO	56.0

Aplicando precipitación y coagulación es posible obtener un efluente claro, libre de materia en suspensión o en estado coloidal.

La diversidad de reactivos que se aplican actualmente en la precipitación química y la coagulación hace que estos tratamientos se adapten a la remoción de substancias muy diversas.



Los compuestos químicos utilizados en la precipitación y coagulación, deben cumplir las siguientes características:

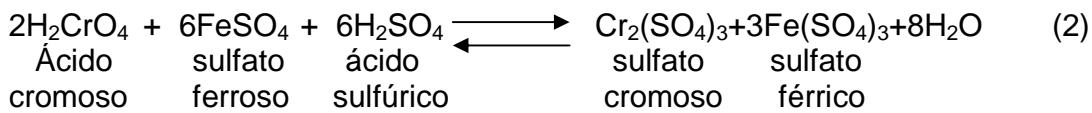
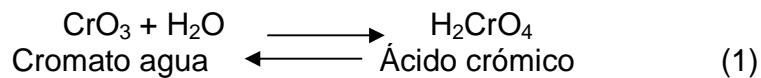
- Ser compuestos químicos que se encuentran normalmente en las aguas naturales, como por ejemplo, los hidróxidos y carbonatos.
- Tener cationes, que formen compuestos insolubles, tales como el hierro y aluminio trivalentes.
- Ser material químico que no produzca residuos tóxicos.

En el proceso de precipitación química, además de los reactivos químicos empleados, son importantes y complementarias al proceso, las operaciones de dosificación, mezclado, floculación o agitación, y clarificación secundaria o filtración.

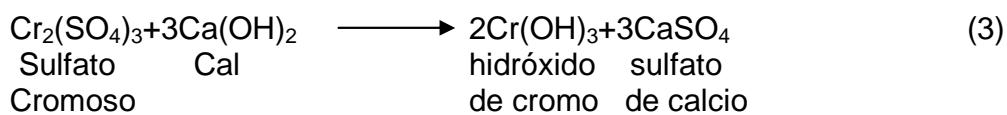
En el tratamiento químico se generan lodos residuales, compuestos por los flóculos producidos por los reactivos químicos empleados y los sólidos (suspendidos, sedimentables y disueltos) separados del agua residual.

Reducción y precipitación del cromo con Sulfato Ferroso y Cal.

El sulfato ferroso reacciona con el cromo exavalente, oxidándose a sulfato férrico y reduciendo al cromo al estado trivalente. La reacción ocurre a pH de 3, por lo tanto es necesario controlar el pH mediante la adición de ácido, las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



La precipitación del sulfato cromoso se efectúa mediante la adición de cal, teniendo la siguiente reacción:



La cal reacciona también con el sulfato férrico para producir hidróxido férrico con la siguiente reacción:





3.4.3 Coagulación química⁶

Los efluentes de los sistemas de tratamiento primario, contienen material finamente dividido y coloide, los cuales por sus características fisicoquímicas no pudieron ser separados por dicho tratamiento.

Un coloide se puede definir como una partícula que se mantiene en suspensión debido a su tamaño extremadamente pequeño (1 a 200 μ), a su estado de hidratación y su carga eléctrica superficial. Hay dos tipos de coloides, los hidrofóbicos y los hidrofílicos, que los hace reaccionar diferente en los medios en que se encuentren.

Es importante conocer qué tipos de coloides se encuentran en el efluente al que se le va a dar tratamiento, para conocer su comportamiento y elegir el medio químico más adecuado para su separación del agua a tratar.

Los coloides tienen en general, las siguientes características:

- Presentan movimiento Browniano.
- Son dializables. Se pueden separar cuando tienen bajo peso molecular, a través de una membrana semipermeable.
- Se difunden muy lentamente en comparación con los iones solubles.
- Tienen muy baja presión osmótica por su mayor tamaño en relación con los iones solubles.

Los coloides hidrofílicos (liofílicos), cuando se concentran pueden alcanzar valores muy altos de viscosidad y formar geles, en cambio, los hidrofóbicos (liofóbicos) no cambian su viscosidad por efecto de la concentración.

La diferencia entre los coloides hidrofílicos e hidrofóbicos se resume en la tabla 2.
La coagulación es la desestabilización de un coloide a partir de la neutralización de su carga eléctrica y la agregación de partículas finas en suspensión.

La coagulación se lleva a cabo por medio de compuestos químicos que son adicionados al agua residual para propiciar la formación de floculos.

En la coagulación química se efectúan reacciones químicas que desestabilizan las partículas en suspensión, propiciando su unión para formar floculos y mediante una agitación mecánica controlada, se facilita el encuentro de las partículas acelerando el proceso de floculación. Los flóculos se separan por sedimentación o filtración.



Características	Hidrofóbicos	Hidrofilicos
Estado físico	Suspensión	Emulsión
Tensión superficial	Similar a la del medio	Mucho menor que la del medio
Viscosidad de suspensión coloidal	Similar a la de la fase dispersante	Mucho mayor a la de la fase dispersante
Efecto Tyndall	Muy pronunciado	Pequeño o totalmente ausente
Facilidad de reconstitución	De difícil reconstitución	Fácilmente reconstituible
Reacción a electrolisis	Fácilmente coagulante	Menos sensitivo a la acción de los electrolitos y requieren mayor dosis para coagular
Ejemplos	Óxidos de metales, sulfuros, haluros de plata, metales, bióxido de silicio.	Proteínas, almidones, gomas, mucílagos y jabones.

Tabla. 3.14 Características de los coloides hidrofilitos e hidrofóbicos

3.4.4 Mecanismos de coagulación

La coagulación se efectúa por tres mecanismos diferentes:

a) Reducción de cargas electrostáticas por adsorción de iones de carga contraria.
Este mecanismo se basa en que los coloides generalmente presentan cargas negativas, por consiguiente, la adsorción de cationes a partir de sales metálicas coagulantes, o de polímeros catiónicos, reducen o neutralizan su carga.

Los reactivos más comunes son

Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Sulfato ferroso	FeSO_4
Alumbre	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
Cloruro fénico	FeCl_3	Aluminato de sodio	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$

b) Puentes de inter partículas por adsorción de grupos químicos específicos en cadenas de polímeros.

Algunos de los polímeros empleados como coagulantes, contienen grupos químicos específicos que pueden reaccionar sobre la superficie de partículas coloidales, ser adsorbidos y servir como puente entre las partículas. La coagulación por medio de polielectrolitos, depende de las condiciones existentes en el agua a tratar.

Los polímeros más comunes utilizados que presentan este mecanismo son:

- No iónicos (neutros). Se usan para acelerar el crecimiento del floculo aniónico, cuando la neutralización de las cargas no es un factor muy importante en la remoción de los sólidos suspendidos.

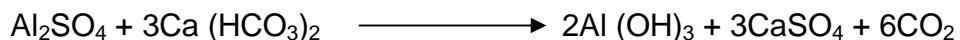


- Catiónicos. Se utilizan cuando el volumen del floculo causa problemas, tales como una sobrecarga, o cuando se necesita acortar el tiempo de filtrado. Los polímeros catiónicos substituyen su carga positiva por el complejo de alumbré, formando una estructura mayor.

c) Adsorción de sólidos finamente divididos por medio de hidróxidos alcalinos en forma de geles.

La adsorción con hidróxidos alcalinos se lleva a cabo dependiendo del pH. Los hidróxidos de fierro, aluminio y de magnesio, forman productos gelatinosos hidrolizados, los cuales son extremadamente efectivos en el secuestro de partículas finas de otros materiales. Los hidróxidos son formados mediante la reacción de las sales metálicas con los iones OH^- , a pH elevado. Los polímeros orgánicos no forman productos hidrolizados de importancia para este mecanismo.

Ejemplos:



Para que se efectúen estas reacciones es necesario controlar la dosificación, la cual debe ser muy baja.

3.4.5 Tipos de coagulantes químicos y sus reacciones

Los coagulantes más comunes son las sales de hierro y aluminio. Los iones precipitantes presentes en estas sales son liberados por la alcalinidad en el agua o producida por la adición de carbonato de sodio o cal.

Los reactivos que se añaden al agua residual en la precipitación o coagulación química, reaccionan con las sustancias que normalmente están presentes en el desecho o que se adicionan con este propósito. La cantidad de reactivos usados generalmente se expresan en Kg/m^3 de agua tratada. Las reacciones simplificadas de los coagulantes más usados se presentan a continuación.



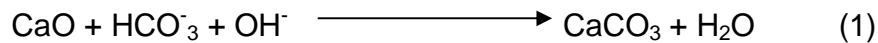
3.4.5.1 Cal o Hidróxido de calcio.

El hidróxido de calcio o cal por su bajo costo ha sido usado ampliamente como primer paso en la sedimentación.

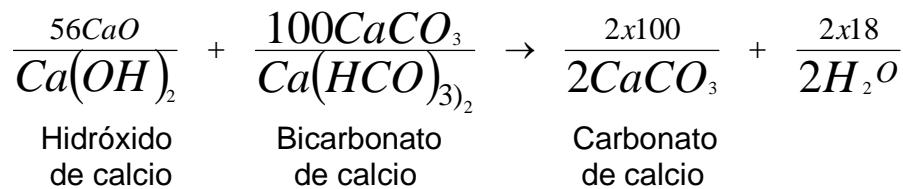
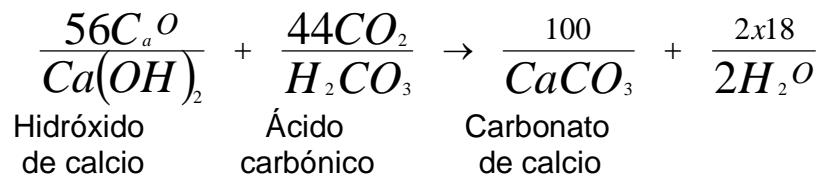
Existen dos tipos de cal: Cal viva (CaO) y cal apagada (Ca(OH)_2). El tipo de cal que se usa para el tratamiento depende de las necesidades del proceso.

La cal promueve la coagulación debido al incremento del pH en las aguas de desecho y reacciona con los bicarbonatos y fosfatos formando precipitados de carbonato de calcio, hidroxiapatita de calcio e hidróxido de magnesio. La precipitación de este último puede empezar a un pH de 9.5 pero no es completa hasta un pH de 11.

La cal reacciona con la alcalinidad natural del bicarbonato, precipitándose el carbonato de calcio (CaCO_3). El exceso de los iones de calcio (Ca^{++}) reaccionará con el fósforo, precipitándose la hidroxiapatita. Las reacciones químicas se resumen en las ecuaciones siguientes:



La cal es utilizada conjuntamente con el sulfato ferroso, para formar el precipitado de hidróxido férrico. Generalmente se requiere más cal cuando se usa sola que cuando se utiliza con el sulfato de fierro. Los principios de la clarificación con cal se explican con las siguientes reacciones:





Se debe de adicionar una cantidad suficiente de cal para que se combine con el ácido carbónico libre y con el ácido carbónico de los bicarbonatos, para producir el carbonato de calcio, el cual actúa como coagulante.

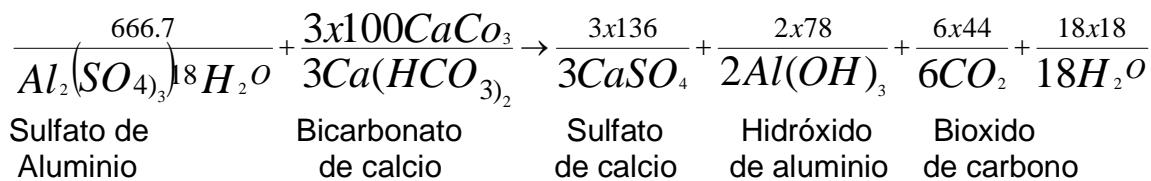
Si se usa mucha cal en el tratamiento, algo de la materia orgánica suspendida se puede disolver por la fuerza cáustica del hidróxido de calcio y el efluente puede resultar peor que el agua residual original.

También si se usa poca cal, el efluente no llega a clarificarse.

Cuando las aguas residuales industriales contienen ácidos minerales o sales ácidas, éstas se deberán neutralizar antes del tratamiento químico.

Sulfato de alúmina (alumbre)

Cuando se añade alumbre a un agua residual que contiene alcalinidad de bicarbonato de calcio y magnesio, la reacción que ocurre se puede representar de la forma siguiente:



El hidróxido de aluminio es un floculo insoluble gelatinoso que sedimenta lentamente en el agua residual, atrapando materia suspendida y produciendo otros cambios. La reacción es similar cuando se tiene bicarbonato de magnesio en lugar de las sales de calcio. Los números sobre las fórmulas químicas son la combinación de los pesos moleculares de las diferentes substancias y denotan qué cantidad de cada una reacciona. Debido a que la alcalinidad se reporta en términos de carbonato de calcio ($CaCO_3$), el peso molecular es 100, la cantidad de alcalinidad necesaria para reaccionar con 10 mg/l de alumbre es:

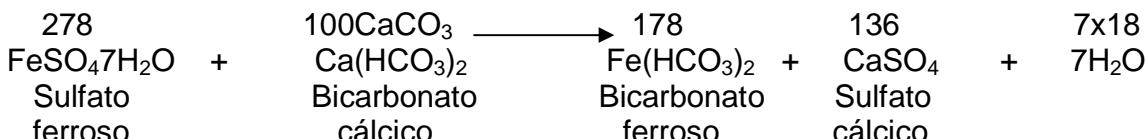
$$10.0 \times (3 \times 100) / 667.7 = 4.5 \text{ mg/l}$$

Se tiene menos de esta cantidad disponible, se deberá aumentar. La cal se emplea comúnmente para este propósito cuando es necesario, pero es raro en el tratamiento de aguas residuales.

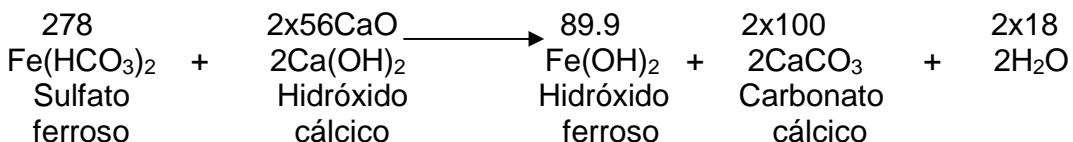


3.4.5.2 Sulfato ferroso y cal.

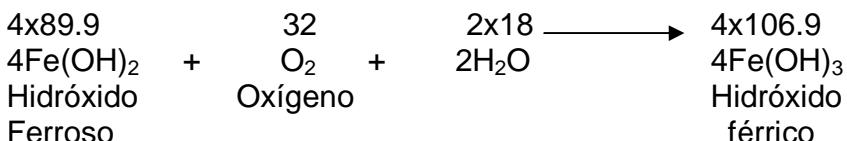
En la mayoría de los casos el sulfato ferroso no se emplea sólo como precipitante, se debe adicionar cal al mismo tiempo, para formar el precipitado. La reacción con sulfato ferroso se muestra en la siguiente ecuación:



Si se adiciona cal en forma de Ca(OH)_2 la reacción que tiene lugar es:



El hidróxido ferroso se oxida luego a hidróxido férrico, con el oxígeno disuelto en el agua:



El hidróxido férrico formado es un floculo gelatinoso insoluble, similar al de la alúmina. De acuerdo a las reacciones tenemos que:

Para 10 mg/l de sulfato ferroso se necesita:

Alcalinidad:

$$10.0 \times (100/278) = 3.6 \text{ mg/l}$$

Cal:

$$10.0 \times (2 \times 56)/278 = 4.0 \text{ mg/l}$$

Oxígeno:

$$10.0 \times 32 / (4 \times 278) = 0.29 \text{ mg/l}$$

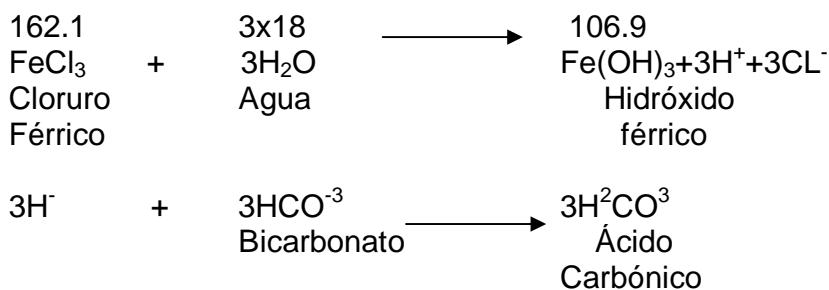
Durante el tratamiento, la oxidación se favorece a un pH alto, el cual se logra con un exceso de cal. En el tratamiento de las aguas residuales, la experiencia ha demostrado que los mejores resultados se obtienen adicionando en exceso la cal hasta producir un color rosa a la fenolftaleína como indicador.



Puesto que la formación del hidróxido férrico depende del oxígeno disuelto, la ecuación (4) no se completa si las aguas residuales industriales no contienen oxígeno. Se puede usar sulfato férrico en lugar del sulfato ferroso y se evitan la adición de cal y la necesidad de oxígeno disuelto.

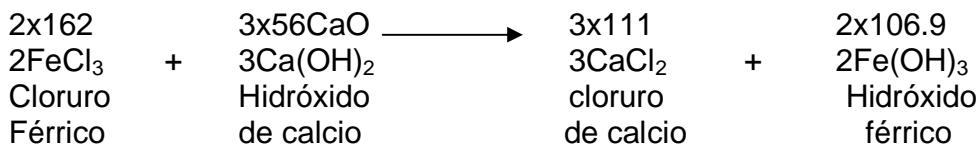
3.4.5.3 Cloruro férrico

Las reacciones del cloruro férrico son las siguientes:



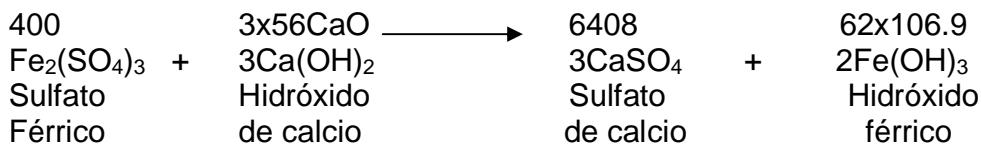
3.4.5.4 Cloruro férrico y cal

Las reacciones del cloruro férrico y cal son las siguientes:



3.4.5.4 Sulfato férrico y cal

Las reacciones que se efectuan entre el sulfato férrico y la cal son las siguientes:





3.4.6 Selección de coagulantes químicos

Para una adecuada selección de los coagulantes se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Los tipos y cantidades de productos químicos que van a ser utilizados como coagulantes, floculantes y controladores de pH.
- Su manejo y forma de alimentarse.

La selección más adecuada del tipo de coagulante deberá estar basada en la "prueba de jarras" (determinación empírica) y en la medición de potencial Z (determinación teórica); ambas deben realizarse para optimizar el tratamiento.

Prueba de jarras

La prueba de jarras es el método más usado para determinar las dosificaciones de los coagulantes, simulando el proceso completo de coagulación- floculación.

El aparato para prueba de jarras consiste en un sistema de agitación mecánica que se coloca en seis recipientes donde se pondrán las muestras de agua residual.

Los objetivos de la prueba son determinar el pH óptimo y la dosis mínima de reactivo con los cuales se logra la máxima eficiencia de remoción.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Seleccionar la longitud de onda apropiada en un colorímetro para evaluar el color del agua. Determinar el % de transmitancia. Si se trata de un agua residual determinar la DQO.
- 2) Determinar la dosis mínima aproximada con la cual se llegan a formar flóculos en el agua. Esto se calcula agitando lentamente 200 ml de agua cruda en un vaso de precipitados y adicionando el coagulante en dosis de 1ml, hasta que se note la primera evidencia de flóculos (el pH no debe bajar de 6, se ajusta si es necesario).
- 3) Tomar seis muestras de 1 litro, del agua que se va a tratar, ajustarles el pH a cada una con valores de 4, 5, 6, 7, 8 Y 9; agregar la dosis aproximada de reactivo calculada en el paso anterior.
- 4) Mezclar las muestras rápidamente de 1 a 5 minutos y luego se baja la velocidad de mezclado a menos de 20 rpm durante 15 a 20 minutos o más. La agitación rápida asegura la dilución del coagulante, mientras que la agitación lenta permite la formación del flóculo. Anotar el tiempo de formación de floculo visible en cada una de las muestras. Despues de la floculación, se dejan sedimentar todas las muestras y se mide el pH final.



- 5) Determinar el color residual como % de transmitancia y la DQO contra el pH para seleccionar el ph óptimo.
- 6) Tomar nuevamente seis muestras de un litro del agua y ajustarlas al pH óptimo que se determinó en el punto anterior. La cantidad de coagulante que se va a adicionar a cada vaso varía del 25 al 200% de la dosis mínima aproximada del punto 2. En la Tabla 3.15 se muestra un ejemplo. Al variar las cantidades de coagulante puede resultar una variación en el pH de las muestras por lo cual éste debe ser ajustado durante la prueba.

Concentraciones de prueba. mg coagulante /l	ml de coagulante (usando solución al 1 %)*
50	5.0
125	12.5
175	17.5
225	22.5
300	30.0
400	40.0

**Tabla. 3.15 Ejemplo para dosis de coagulante.
(Si la dosis aproximada es 200 mg/l)**

*Si el volumen de la solución es más del 5% de la muestra, entonces se deberá usar una solución más concentrada.

- 7) Mezclar las muestras rápidamente de 1 a 5 minutos y se baja la velocidad para propiciar la floculación durante 15 a 20 minutos.
- 8) Dejar sedimentar las muestras y medir el porcentaje de transmitancia y la DQO de la muestra más clarificada. Medir el pH final.
- 9) Elegir la dosis optima.
- 10)Medir el nivel de lodo sedimentado.
- 11)Calcular la cantidad de reactivos necesarios por metro cúbico de agua a tratar, tanto para ajustar el pH como la dosis de coagulante.

La prueba se repite para cada reactivo en particular.

Determinación del potencial Z.

La medición de la carga eléctrica de la partícula es otro procedimiento que se emplea para controlar el proceso de coagulación. La carga está distribuida en dos capas acuosas adyacentes en la partícula: la capa interior del agua y los iones contenidos en ella, esta fuertemente anclada a la partícula y se mueve con ella a través de la solución; la capa exterior, es parte de la fase acuosa total y se mueve independientemente de la partícula. Las cargas no son medibles en estos espesores. Sin embargo el potencial Z, que es la carga residual en la interfase entre la capa ocluida y la fase acuosa móvil, puede determinarse indirectamente con aparatos especiales.



La determinación del potencial Z se realiza de la forma siguiente:

Tomar una muestra de agua que contenga floculos, vaciarla en una celda de plástico especial, y observarla al microscopio. Con la ayuda de un rectificador de corriente directa, las partículas cargadas eléctricamente emigrarán al electrodo que tenga la polaridad contraria. La velocidad de migración será proporcional a la carga de la partícula y al voltaje aplicado. La velocidad puede ser calculada observando el tiempo que toma a la partícula viajar una cierta distancia, la cual se mide a través de un micrómetro ocular. El punto de control es usualmente de 0 a 10 milivolts. El potencial Z puede obtenerse de una gráfica, que combina la velocidad de la partícula con los parámetros medidos en los instrumentos.

Cuando se quiere controlar la coagulación por medio del potencial Z, las muestras de agua se dosifican con diferentes concentraciones de coagulantes, y se realizan las determinaciones del potencial Z. Los valores obtenidos se grafican para cada muestra. La dosificación y tipo de coagulante que produce el valor óptimo del potencial Z se aplica entonces a la planta de tratamiento. El valor óptimo de coagulación se determina para cada efluente en especial.

La dosificación y selección del coagulante se basa en los resultados de la prueba de jarras y en la determinación del potencial Z, para evitar un exceso de coagulantes y que se tengan efectos contrarios a los que se persiguen

3.4.7 Floculación⁵

En la generalidad de los casos, los productos hidrolizados formados por los coagulantes metálicos presentan una sedimentación lenta, en estos casos, la adición de un coadyuvante, como son los polielectrolitos, aumenta la eficiencia de sedimentación notablemente.

La floculación es la operación unitaria aplicada a las aguas residuales, para que por medio de substancias químicas (polielectrolitos) se aumente el contacto entre las partículas finas en la coagulación, para formar floculos, los cuales sedimentan más fácilmente.

La floculación se ve favorecida por la agitación moderada del agua residual, por medio de paletas a baja velocidad. Si la agitación es demasiado rápida, los floculos se rompen, por tal motivo, debe controlarse la velocidad dentro de un rango en el que se puedan formar los flóculos grandes para que sedimenten. Los compuestos utilizados para la floculación son polielectrolitos de origen natural o sintético. El funcionamiento de un polielectrolito se especifica, dependiendo del tamaño, densidad y carga de las partículas a flocular, y de pH del polímero en solución. Para la correcta selección del polielectrolito se recomienda hacer una prueba de jarras.

La experiencia ha demostrado que los polímeros aniónicos en combinación con las sales de fierro y aluminio, son más efectivos para remover coloides, cuando se utilizan en los sedimentadores primarios.



Las especies catiónicas generalmente se aplican en el espesamiento de lodos. En algunos casos, se utilizan como coadyuvantes para mejorar la sedimentación de las sales metálicas en el tratamiento de las aguas residuales industriales.

3.4.7.1 Tipos de floculación

Floculación natural.

En este tipo de floculación actúan los procesos naturales de sedimentación, provocados por la agregación de partículas suspendidas para formar flocos capaces de precipitarse a causa de su volumen y aumento de masa.

Esta agregación de los coloides empezará inmediatamente después de la adición de los floculantes a causa del movimiento browniano en el líquido, conociéndose como una floculación pericinética.

Este tipo de floculación requiere un tiempo de retención muy grande, pues no se controla el movimiento browniano y consecuentemente el tiempo de sedimentación, por lo cual no es recomendable su empleo.

Floculación inducida.

En la floculación inducida u ortocinética se propician las colisiones de las partículas por medios mecánicos o hidráulicos, para acelerar y controlar el proceso de sedimentación.

En la floculación inducida se usa la agitación para acelerar la agregación de partículas coloidales. Las partículas se mueven en el sentido de la rotación del agua y debido a diferencias en su peso, viajan a diferentes velocidades, lo que provoca una colisión entre ellas y por consiguiente un aumento en su tamaño.

A este proceso se le conoce como floculación ortocinética.

La agitación en los floculadores se puede lograr por medios hidráulicos o mecánicos:

- a) La floculación hidráulica es el método más simple que se emplea para generar gradientes de velocidad por disipación de energía en un fluido mediante bafles o deflectores instalados en la trayectoria del fluido de alimentación al tanque de sedimentación.
- b) La floculación mecánica se basa en la disponibilidad de agitadores mecánicos que ofrecen una mayor versatilidad en el diseño y operación de los equipos.

Estos floculadores se dividen en dos tipos:

Oscilatorios y rotatorios.

Los floculadores oscilatorios se caracterizan por su movimiento de vaivén y ondulación para producir bajas velocidades de circulación del fluido.

Los rotatorios funcionan con paletas que se desplazan a través del líquido, y pueden ser de tipo horizontal o vertical, según sea el movimiento de las paletas.



El diseño y operación de los sistemas de flocculación se relacionan mediante las siguientes ecuaciones obtenidas empíricamente.

$$D = \left(C_D A \rho v^2 \right)^{1/2}$$

$$D = \left(C_D A \rho v^3 \right)^{1/2}$$

$$G + \sqrt{\frac{p}{\mu}} V$$

Siendo: D = la resistencia de las rastras al avance, kg

CD = coeficiente de resistencia de las paletas del floculador con movimiento perpendicular al fluido.

A = área de las paletas, m²

P = densidad de la masa del fluido, kg/m³

V = velocidad relativa de las paletas en el fluido, m/s.

P = potencia requerida, kg m/s.

G = gradiente de velocidad media, l/s

V = volumen del tanque, m³

μ = Viscosidad absoluta del fluido, kg s/m²

Como se indica G es una medida del gradiente de velocidad media en el fluido, o sea el grado de mezclado, y depende de la potencial aplicada, la viscosidad del fluido y del volumen del tanque.

Si tomamos en cuenta el tiempo de retención teórico (td):

$$T = V/Q$$

Y multiplicamos ambos lados de la ecuación obtenemos:

$$Gtd = \frac{V}{Q} \sqrt{\frac{p}{\mu}} V$$

$$Gtd = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{pV}{\mu}}$$

Los valores típicos del tiempo de retención son entre 15 y 30 minutos y dan valores de G entre 20 y 75S-1. Los valores reportados para G td varían entre 104 y 105.

El valor de G es una medida de la intensidad de la turbulencia creada. Un mezclado moderado se relaciona con un valor de G = 20. Un mezclado vigoroso tiene un valor de 100. En la tabla 3.16 siguiente se dan valores de G para varios tipos de flóculos.



Tipos de agua residual	Gradiente de velocidad G (s-1)
Flóculos frágiles (flóculos biológicos).	10-20
Floculo con esfuerzo cortante (flóculos que se encuentran en la remoción de turbidez	20-50
Flóculos químicos con gran esfuerzo	50-100
Cortante (flóculos de los procesos de precipitación)	

Tabla 3.16 Valores de gradiente de velocidad (G) para varios tipos de floculo

Existe un límite en los gradientes de velocidad o fuerzas de esfuerzo cortante que pueden generarse, debido al hecho que, después de que el floculo alcanza un cierto tamaño puede llegar a disgregarse por un esfuerzo cortante alto. Por consiguiente los valores óptimos de G que se pueden usar, sólo se pueden determinar empíricamente y variarán con el tipo de coagulante químico usado y el tamaño deseado de las partículas, el tiempo de retención y la concentración de partículas.

3.4.7.2 Tipos de floculantes

Los floculantes pueden ser de origen natural o sintético, orgánicos e inorgánicos; entre los sintéticos orgánicos se tienen los polielectrolitos que pueden ser aniónicos, catiónicos y neutros.

Floculantes inorgánicos naturales

Los floculantes inorgánicos naturales más usados son: bentonita y sílice activada.

Bentonitas.

Las arcillas del tipo de la bentonita son floculantes naturales, se utilizan siempre en combinación con coagulantes del tipo de hidróxidos metálicos.

El agua residual con poca turbidez, no coagulará tan rápidamente como la de turbidez apreciable, pero con la adición de un floculante de esta naturaleza, se incrementa la masa crítica de la suspensión coloidal. La adición de bentonita disminuye la dosificación del coagulante porque aumenta la cinética de la partícula y la probabilidad de contacto entre la partícula y el coagulante. Asimismo incrementa la densidad de las partículas coaguladas promoviendo una sedimentación más rápida.

La bentonita es un reactivo comúnmente usado en el tratamiento de las aguas residuales de las fábricas de papel. Normalmente, se aconseja una dosis de 3 a 20 mg/l, y se recomienda realizar la prueba de jarras para determinar la dosificación óptima.



Sílice activada

La sílice activada es un polisilicato cargado negativamente (polielectrolito aniónico), que se prepara mediante la neutralización parcial a un pH de 6 a 7, de una solución concentrada de silicato de sodio. Esta se diluye subsecuentemente y debe ser empleada cuando está recientemente preparada, ya que es termodinámicamente inestable.

Preparación de la sílice activada.

El sol de sílice activada se forma diluyendo silicato de sodio en agua, mezclándolo vigorosamente con una cantidad determinada de reactivo químico para neutralizar toda o parte de la alcalinidad que tenga, hasta alcanzar un pH de 6 a 7.

La solución parcialmente neutralizada se deja envejecer para permitir el crecimiento de partículas de sílice activada cuyas dimensiones son inferiores a 1 micra. La solución envejecida se diluye con agua para producir un sol estable y prevenir la formación de un gel. Así mismo, posee la propiedad de forzar la floculación por medio de la formación de capas con características iónicas y electrónicas, lo cual origina un enlace entre ellas aumentando su volumen, y como resultado de esto, las partículas más pequeñas son englobadas.

El tiempo de envejecimiento para sistemas intermitentes usualmente varía de 1 a 2 horas, mientras que para soles formados por método continuo pueden ser suficientemente envejecidos durante 1 minuto.

Los soles de sílice activada tienen una carga eléctrica negativa y cuando se introducen en agua atraen a las substancias cargadas positivamente. Las dosificaciones para el tratamiento de aguas residuales domésticas varían entre 5 y 25 mg/l como SiO_2 .

Floculantes sintéticos orgánicos.

Los floculantes sintéticos orgánicos son polímeros con cadenas ramificadas o lineales, se caracterizan por el número de subunidades o por su peso atómico.

Las dosis que generalmente se emplean son pequeñas, menos de 1 mg/l, pues una sobredosis puede reestabilizar los sólidos, haciéndolos muy difíciles de sedimentar. Se recomienda hacer la prueba de jarras para la correcta dosificación del polímero.

En el tratamiento de las aguas residuales industriales se utilizan diversos productos químicos para precipitar los contaminantes. En la tabla 3.17 se presenta una relación de las descargas industriales y los reactivos usados en cada caso.



Descarga industrial	Reactivos químicos
Alimenticia	Ácido lignin-sulfónico Ácido dodecilbenzeno-sulfónico. Trisulfato de glucosa. Cloruro férrico (III). Sulfato de aluminio.
Coque y alquitrán	Cal o Hidróxido de sodio.
Electrolítica	Sulfuro de hidrógeno (H_2S).
Extrativa de Cadmio	Xantatos.
Fertilizantes	a) Para fosfatos: Sales ferrosas (II). Sulfato de aluminio. Cal. b) Para nitrógeno: Sulfato de magnesio y fosfatos.
Fotográficos	Sulfato de aluminio
Galvanoplastía	Cal.
Papel	Bentonita, coalín, almidón. Poliacrilamida.
Productos químicos orgánicos	Sulfato de aluminio y cloruro férrico (III)
Refinería de petróleo	Sulfato de aluminio y cloruro férrico (III)
Textil	Bentonita y sulfato de aluminio.

Tabla 3.17
Descargas industriales y reactivos químicos usados

3.4.8 Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de las aguas residuales tiene como finalidad remover la materia orgánica en estado coloidal y disuelto, la cual no fue removida con el tratamiento primario. Este tratamiento se realiza por medio de una combinación de operaciones unitarias.

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

En los sistemas biológicos, se tienen complejas poblaciones de microorganismos mezcladas e interrelacionadas, en las que cada uno de ellos tiene su propia curva de crecimiento, la cual depende de las condiciones del sistema, pH, temperatura, aereación o anaerobiosis y disposición de nutrientes.

La eficiencia de los procesos biológicos depende de las características de las aguas residuales, condiciones ambientales del sistema (pH, temperatura, aereación o anaerobiosis, nutrientes) y tipo de microorganismos.



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

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

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

Estos procesos, se clasifican de acuerdo a la dependencia del oxígeno por los microorganismos utilizados en la biodegradación de la materia orgánica en:

- Tratamientos aerobios. La estabilización de la materia orgánica se efectúa en presencia de oxígeno.
- Tratamientos anaerobios. El proceso de estabilización de la materia orgánica se realiza en ausencia de oxígeno.

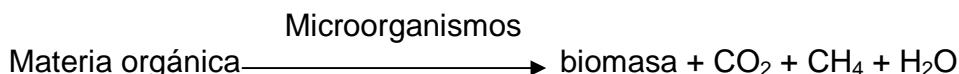
3.4.8.1 Tratamiento anaerobio.

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales, es un proceso mediante el cual es degradada la materia orgánica y/o inorgánica por medio de microorganismos, principalmente bacterias en ausencia de oxígeno (anaerobiosis).

Este sistema degrada con mayor eficiencia la materia orgánica, produciendo una mezcla de gas, llamada biogas, compuesta de metano (60-70 %), bióxido de carbono (30-40 %) Y trazas de ácido sulfídrico e hidrógeno.

Este proceso ocurre en forma natural en los pantanos y en el fondo de las lagunas y lagos, donde no hay oxigenación.

La biodegradación de la materia orgánica en forma anaerobia se puede resumir de la siguiente manera:



El proceso anaerobio se puede resumir en dos etapas:

- Acidogénesis.
- Metanogénesis.



En la primera etapa la materia orgánica se hidroliza y los compuestos orgánicos complejos se transforman en ácidos orgánicos simples de los cuales los más comunes son ácido acético y ácido propiónico. En esta etapa la degradación se lleva a cabo por bacterias facultativas y anaerobias llamadas bacterias acidogénicas.

En la segunda etapa los ácidos formados en la primera son metabolizados por las bacterias metanogénicas produciendo metano y bióxido de carbono.

Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas y tienen una velocidad de reproducción más lenta que las bacterias acidogénicas, ocasionando la acidificación del sistema de tratamiento, siendo esto a veces una limitación del tratamiento pues disminuye su eficiencia.

El tratamiento anaerobio se aplica a los lodos residuales de las plantas de tratamiento y a las aguas residuales industriales.

Las ventajas de este tratamiento son:

- Baja producción de lodos residuales.
- Producción de biogas, el cual puede ser utilizado como combustible.
- Baja demanda de nutrientes (fósforo y nitrógeno).
- Lodos residuales estables.

Los inconvenientes de este sistema son:

- Largos períodos de tiempo de retención (3-10 días).
- Períodos relativamente largos para estabilizar el sistema al principio.
- Altas temperaturas necesarias para lograr un adecuado tratamiento, lo cual representa gasto de energía.

Los sistemas más comunes para el tratamiento anaerobio son los siguientes:

- Digestores.
- Lagunas anaeróbicas.
- Fosas sépticas.

En el caso de descargas industriales se usan los digestores, de los que actualmente existen diferentes patentes comerciales. En la fig. 3.18 se muestra un diagrama de un digestor anaeróbico de una etapa con mezcla completa.

Las fosas sépticas han sido utilizadas para tratamiento de las aguas residuales domésticas en poblaciones rurales.

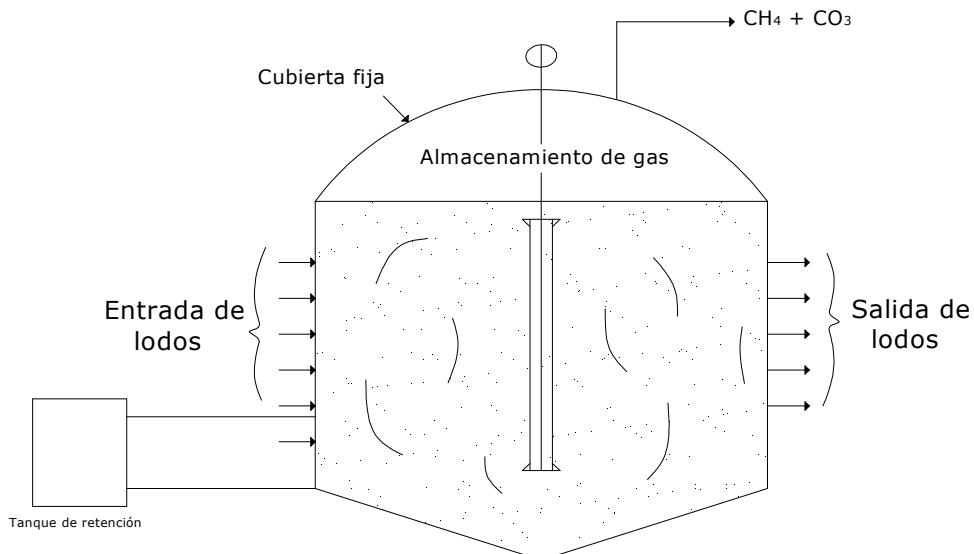


Fig. 3.18 Diagrama de un digestor anaeróbico de una etapa con mezcla completa.

3.5 TRATAMIENTO TERCIARIO

3.5.1 Cloración⁶

Los métodos analíticos que se aplican son colorimétricos, amperométricos y polarográficos. El amperométrico es el de mayor uso para medir en línea. Emplea dos metales disímbolos que se encuentran en una solución o electrolito a los que se aplica un voltaje para que fluyan electrones del electrodo negativo al positivo generando una corriente eléctrica. La cantidad de corriente que fluye es proporcional al contenido de cloro. Un medidor amperométrico se muestra en la Figura 3.19; Consiste de una entrada para la muestra, un regulador de flujo, bombas dosificadoras para introducir los reactivos, celda de medición y convertidor electrónico de la señal. La muestra entra en cantidad conocida y actúa como electrolito a medida que pasa a través de la celda.

Puesto que el cloro puede existir en forma de diversos compuestos químicos, la muestra es acondicionada con reactivos para medir el contenido total de cloro. La corriente que se genera en la celda es muy sensible a las variaciones de temperatura, a razón de 3% por cada grado. Por ello, es preciso contar con un mecanismo que ajuste la lectura por este concepto y registre el valor. La sensibilidad de estos aparatos es de $\pm 3\%$ del total de la escala, lo que implica que para mediciones de 0 a 1 mg/L, y de 0 a 20 mg/L se tienen desviaciones del orden de 0.03 a 0.6 mg/L. La confiabilidad es del $\pm 1\%$, siempre y cuando la temperatura del agua se mantenga en el intervalo 0 a 500C.

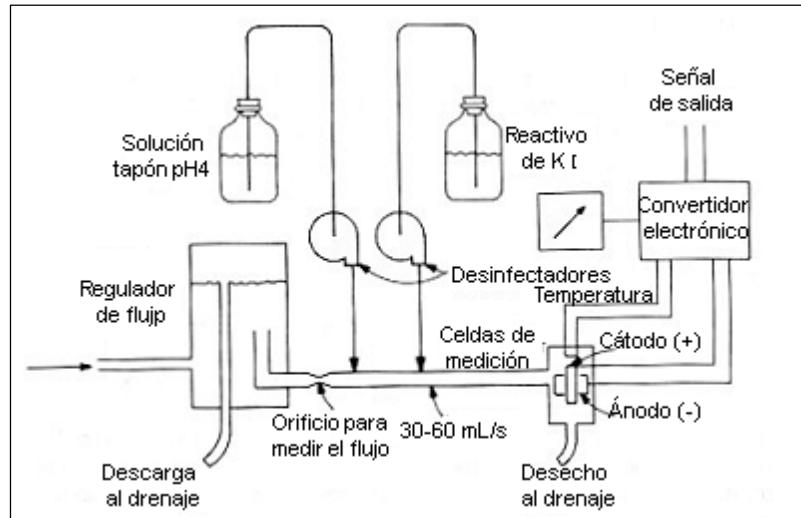


Figura 3.19 Medidor amperométrico de cloro residual total (Skrentner, 1987)

Para instrumentar esta prueba se requiere un indicador local de lectura, el suministro automático de reactivos, la filtración de sólidos de la muestra y una salida de la lectura para monitoreo en control remoto.

Normalmente, los analizadores de cloro residual se instalan en anaqueles independientes donde la muestra es llevada a partir del tanque de contacto. En consecuencia, el funcionamiento y diseño correcto del equipo muestreador son fundamentales para que la instrumentación resulte exitosa.

En particular es preciso considerar el tiempo que se tarda en transportar la muestra puesto que para la cloración es crucial el tiempo de contacto. Electrodos de medición in situ constituyen los más recientes avances tecnológicos y tienen la ventaja de eliminar el transporte de la muestra. Para seleccionar el equipo de muestreo (Figura 3.20) se debe considerar:

Una bomba capaz de suministrar un gasto de 20 a 40 L/min.

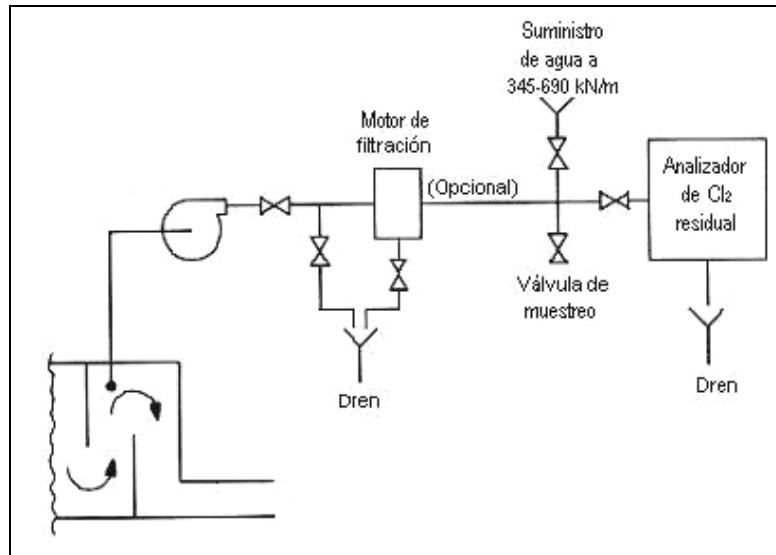
Una tubería que transporte la muestra a una velocidad de 1,5 a 3 m/s

Que la longitud de la línea sea tal que se obtenga el tiempo deseado para la lectura

Instalar una válvula cerca del analizador de manera que se puedan tomar alícuotas para calibrarlo

Contar con agua limpia y válvulas para purgar la línea de conducción y evitar su taponamiento

En caso de que la muestra contenga sólidos, instalar un filtro



**Figura 3.20 Transporte de la muestra para medir cloro residual
 (Skrentner, 1987)**

Debe conservarse el sistema limpio, tomar la muestra en un sitio con buena mezcla y representativo del total de la corriente.

En cuanto al analizador de cloro, éste debe ser instalado en un espacio amplio (mínimo con 1 m a su alrededor para facilitar el mantenimiento), contar con un dren de piso, área de trabajo para colocar el equipo de apoyo y reactivos para la calibración. Conviene contar con un circuito separado de suministro eléctrico e iluminación del panel de lectura.

Desinfección

3.5.1.1 Efectos del cloro en los seres vivos

La respuesta de los diversos organismos vivos al cloro es variable. En particular la de las bacterias es alta y bien conocida en tanto que la de protozoarios y virus es variable y poco conocida. En general los quistes de protozoarios y los virus entéricos son más resistentes al cloro que las bacterias, particularmente las entéricas.

No existen tablas o dosificaciones universales de la cantidad de cloro que se deba añadir para potabilizar el agua, pues ello depende de cada agua. Se debe, entonces, determinar en laboratorio la demanda de cloro y la cantidad suficiente para mantener un residual que proteja al agua durante su transporte. De hecho, la medición de este residual constituye la prueba esencial de la potabilidad de un agua y es muy útil ya que



se correlaciona directamente en el contenido de coliformes totales y fecales, evitando realizar tediosas determinaciones en forma rutinaria.

Para determinar la dosis óptima, se deben realizar pruebas de laboratorio agregando cantidades crecientes de cloro al agua y midiendo su concentración a través del tiempo. La dosis óptima será la que produzca un residual de cloro libre, siendo de 0.2 a 1.5 mg/L para agua potable al final del período de contacto. Por ejemplo, en la Tabla 3.21 se presentan las dosis típicas de cloro (en sus diferentes formas) usadas en plantas potabilizadoras.

Compuesto de cloro	Dosis (mg/L)
Cloro gas	1 a 16
Hipoclorito de sodio	0.2 a 2
Hipoclorito de calcio	0.5 a 5

Tabla 3.21 Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras

La dosis de cloro ideal es la necesaria para destruir todos los organismos patógenos presentes en ella. Por tanto, para poder determinarla es indispensable tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Organismos que se intenta destruir u organismos índices (coliformes fecales)
- Tiempo disponible entre el momento en que se aplica el cloro al agua y el momento en que ésta es consumida, usada o descargada (tiempo de contacto)
- Cantidad de cloro que económicamente se puede agregar.
- Clase de desinfectante que se forma en el agua (HClO, ClO⁻, NH₂Cl) según sea el pH y el contenido de nitrógeno y materia orgánica.

Definir si el agua requiere precloración y poscloración o sólo poscloración, dependiendo de las características de la fuente. Por ejemplo, aguas altamente contaminadas con coliformes superiores a 5×10^3 o que presenten una excesiva producción de algas en la planta, deben siempre preclorarse.

En potabilizadoras, la poscloración debe usarse en todos los casos. Las dosis dependen de la demanda de cloro en la red. Las redes de gran longitud, al presentar largos períodos de retención, requieren dosis iniciales mayores que las redes cortas.

3.5.1.2 Efectos colaterales

La acción del cloro sobre el ser humano es nula cuando se ingiere en pequeñas cantidades, hasta de 50 mg/L. En el agua para beber, el cloro libre le comunica sabor cuando su contenido es superior a 0.1 a 0.2 mg/L. Aparte de su olor característico, el cloro, puede originar sabores desagradables debido a la formación de clorofenoles, cuando el agua contiene trazas de fenoles, este sabor es perceptible en concentraciones del orden de 0.0002 mg/L.



3.5.1.3 Equipo

Existen dos formas de aplicar el cloro, como elemento gaseoso o líquido. El primero restringe a instalaciones que cuenten con medidas de seguridad para el manejo del gas, ya que éste se aplica a presión utilizando inyectores de vacío. El líquido (hipoclorito) se aplica mediante bombas dosificadoras, su empleo requiere de la existencia de cámaras de mezclado.

Comparando dos tipos de mezcladores uno rápido y el otro de difusión convencional se encontró que el cloro en cualquier presentación es activo durante los primeros 30 s de mezclado, por lo que conviene un mezclado rápido. La eliminación de coliformes se efectúa con 15 min. de contacto como mínimo.

El olor característico del cloro es un primer nivel para llamar la atención sobre posibles fugas; puesto que el cloro es muy reactivo con el amoniaco se emplea este compuesto para detectar fugas pues juntos forman un vapor blanco y denso.

Una unidad básica para dosificar cloro consiste de un orificio insertado en la línea de alimentación para controlar la tasa del flujo al cilindro. Su operación es similar a la de una llave de agua con suministro a presión constante. La cantidad de agua descargada se regula al abrir la llave, y si se mantiene una presión constante de agua, el flujo permanece estable. Esto se muestra en la Figura 3.22 que consiste de una conexión acanalada que entra a un anillo fijo. La tasa de alimentación es ajustada mediante la variación de la apertura en "V". Pero, puesto que la presión en el cilindro varía en función de la temperatura, la descarga a través de la válvula no es constante y requiere ajustes periódicos. Además, también puede haber variaciones por la presión en el punto de descarga.

Para contrarrestar esto, se coloca una válvula reguladora de presión entre el cilindro y el orificio, con una válvula compensadora de vacío del lado de la descarga. La válvula aliviadora de presión se mantiene cerrada por vacío. Si se pierde éste se abre la válvula y el cloro es venteado. El rotámetro, los medidores de presión y el ajustador de flujo se localizan en un panel frontal en la consola de cloración.

La alimentación directa de cloro gas a una tubería o canal tiene limitaciones, una de ellas es la seguridad. Por ello se emplean inyectores que suministran una solución rica en cloro a una tasa específica. El agua fluye a través de un eyector que crea un vacío y jala el gas desde el dosificador y lo mezcla con el flujo. Esta solución es relativamente estable y puede ser transportada en forma relativamente segura a varios puntos de la planta donde es introducida en canales abiertos, tuberías cerradas y en descargas de bombas.

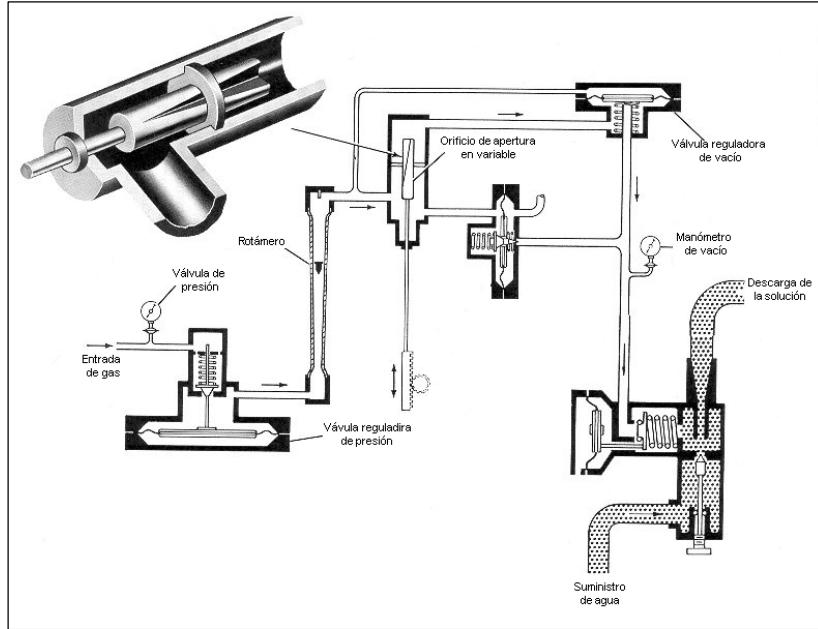


Figura 3.22 Diagrama de flujo de un clorador típico (Hammer, 1986)

3.5.1.4 Control

Los dosificadores de cloro pueden ser controlados en forma manual o automática, basándose en el flujo, el contenido de cloro residual o ambos. Un ajuste manual implica una tasa de dosificación constante y se usa donde tanto el flujo como la demanda de cloro son relativamente estables y se dispone de personal. Un control automático sirve para suministrar cloro a una dosis preestablecida para cualquier flujo. Esto se logra midiendo el flujo principal, y utilizando una señal que guía el dosificador.

El control automático emplea un analizador aguas abajo del punto de aplicación para regular la dosificación. Un sistema de este tipo se muestra en la Figura 3.23, que ajusta la dosis en función de la demanda y el caudal, para mantener un residual prefijado. Este es el sistema más efectivo para asegurar la calidad del agua.

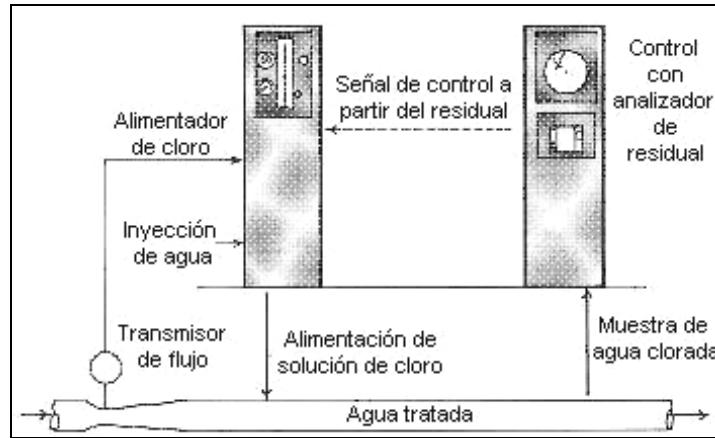


Figura 3.23 Dosificador y analizador de cloro (Hammer, 1986)

3.5.1.5 Impurezas del cloro

El cloro en forma gaseosa frecuentemente contiene cloroformo, tetracloruro de carbono y otros residuos que reaccionan con la materia orgánica para producir trihalometanos, cloraminas, haloacetonitratos, ácidos haloacéticos y halofenoles.

Control de trihalometanos

La cloración de aguas superficiales que contienen ácidos húmicos que provienen de fenómenos naturales como la descomposición de vegetales y animales, genera la formación de trihalometanos (THMs). Los más comunes son el cloroformo y el bromodiclorometano. Hay altas probabilidades de que estos compuestos sean carcinógenos en concentraciones por arriba de 0,1 mg/L.

Los trihalometanos se generan fácilmente cuando hay materia orgánica y se practica el punto de quiebre para eliminar nitrógeno, se efectúa el control de olor y sabor con cloro, o se opera para tener contenidos altos de cloro libre residual en el agua potabilizada. Para evitar su aparición se recomiendan las siguientes prácticas:

Clorar sólo después de la coagulación-floculación y sedimentación

Mejorar el proceso de clarificación

Usar un desinfectante alterno, que no sea halógeno

Emplear dióxido de cloro en lugar de cloro

Aplicar carbón activado, para absorber tanto los THMs como los compuestos húmicos (opción más costosa)

En caso de emplear un desinfectante alterno como el ozono o la luz ultravioleta, se debe seguir añadiendo al final cloro para contar con la capacidad residual de desinfección que sólo este compuesto posee para proteger el agua durante su distribución.



3.5.2 Cloración de sistemas de distribución

3.5.2.1 Cloro Residual en la Red de Distribución

El consumo de cloro en el agua de una red de distribución se debe, por una parte, al consumo del cloro por la propia agua (sustancias presentes en ella y otras condiciones físicas) y por otra, al consumo que se produce en la interfase con las paredes de las conducciones; depende principalmente de la temperatura y del contenido en materias orgánicas disueltas

En la interfase con las paredes, el consumo de cloro se produce por la interacción con los productos de corrosión y por los depósitos y biomasa fijada en las paredes.

Las dos técnicas de cloración generalmente empleadas para la red de distribución son la cloración residual libre y la cloración residual combinada (más la primera que la segunda). Esta cloración debe ser suficiente para mantener la concentración de cloro residual libre de 0.2 a 1.5 estipulada en la normativa.

BIBLIOGRAFIA

1. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, México 1991
2. Manual de Aguas para Usos Industriales, American Society for Testing and Materiales, Philadefia Pennsylvania, Tercera Edición, Ed. Limusa México, año 1982.
3. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales
4. HERMAN E HILLEBOE, Md comisionado, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Editorial Limusa Noriega Editores
5. JAIROALBERTO ROMERO ROJAS, Potabilización del Agua, Alfa Omega
6. COMISION NACIONAL DEL AGUA, Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Año 2004,
7. ING. LOPEZ Felipe, Diseño de Plantas Potabilizadoras, Centro de Actualización Profesional (CAPIC), Año 1984.



CAPITULO 4 ESTUDIOS BASICOS

4.1 DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

Empresa **COL-MART** creada en los años sesenta teniendo auge a principios del año 1975 en adelante siendo hoy en día una fuente de trabajo para la mano de obra Nextlalpense.

Empresa dedicada a la maquila y proceso de pantalones de mezclilla.

Domicilio: Avenida Emiliano Zapata s/n Barrio Santiago Atocan, Municipio de Nextlalpan Estado de México.

Tipo de procesos que se llevan a cabo:

- ❖ Azul
- ❖ Azul cielo
- ❖ Variedad de teñidos (negro, café, verde, petróleo)

Producción: Promedio semanal se procesan 4000 prendas de mezclilla.

4.2 LOCALIZACION





El municipio de Nextlalpan se localiza en la parte norte del Estado de México, en las coordenadas, 19° 40' 50" y 19° 46' 21" de latitud norte; 99° 01' 54" y 99° 07' 46" longitud oeste; a una altura de 2, 230/2,240 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte, con los municipios de Zumpango y Jaltenco; al sur, con los municipios Tultepec, Tultitlán y el pueblo de Tonanitla, y con el municipio de Tecámac; al oriente, con Tecámac y Zumpango; y al poniente, con Zumpango, Cuautitlán y Melchor Ocampo. La distancia aproximada a la capital del estado es de 105 km., y a la ciudad de México es de 39 km., aproximadamente¹.

Nextlalpan tiene un clima templado semi-seco, se clasifica con la clave Bs, Kw (W), (i') g. La temporada de lluvias en verano registra una precipitación anual de 603.9 mm. La temperatura media es de 14.6°C, la máxima de 32.0C y la mínima de 8°C. En el invierno predominan los vientos del norte y en el resto del año los del sur.

Características y Uso del Suelo

En la era cenozoica del periodo cuaternario hubo formaciones rocosas que con el paso del tiempo se desintegraron formando distintos tipos de suelo, como regosol eutrico, fozem calcárico, zolanchac mólico ortíco.

El 65% del territorio municipal es de uso agrícola, útil en cultivos de regadío y temporal; 21% es pecuario, 13% lo ocupa la zona urbana y el 1% de reserva ecológica.

Industria

Desde 1943 inició en el municipio la industria de la confección de ropa destacando la fabricación de pantalones, aunque también se confeccionan camisas, vestidos, chamarras, trajes de baño y crinolinas.

La mayoría de los talleres son maquiladoras, las prendas que se elaboran son de mezclilla. La industria es una actividad que proporciona una fuente de trabajo para los habitantes del municipio y de otras comunidades.

4.3 CONDICIONES PARTICULARES.

Los procesos que se trabajan son dependiendo la época que se viva ya que esta es la que marca de alguna manera la moda para vestir, regularmente a la mezclilla se le practican infinidad de procesos siendo los más recurrentes los siguientes²:



- **AZUL.** Este proceso en si es uno de los más clásicos y tiene a bien ser de lo más vendido, consiste en;

1^{er} ETAPA **DESENGOME**

INICIO 300 LITROS EN LAVADORA

10 minutos se eleva la temperatura a 65 ° C

- ❖ Desengomante 1 litro
 - ❖ Antirredepositante 500 mililitros
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

2^a ETAPA **TALLADO**

40 – 60 minutos se eleva la temperatura a 40° C

- ❖ Antirredepositante 500 mililitros
 - ❖ Acético 750 mililitros
 - ❖ Encimas 500 mililitros
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

3 ^{er} ETAPA **LAVADO**

10 minutos se eleva la temperatura a 80 ° C

- ❖ Detergente 300 mililitros
 - ❖ Carbonato 1 kilogramo
 - ❖ Peroxido 500 mililitros
- Enjuagar dos veces
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
- ❖ Blanco óptico 100 mililitros
 - ❖ Suavizante 1 litro
- DESCARGA (200 litros)

Así de acuerdo a esta lista numerada de pasos se obtiene el proceso denominado azul.



- **AZUL CIELO.** Siguiente proceso es el azul cielo tiende a ser un color más claro y consiste en;

1^{er} ETAPA DSENGOME

INICIO 300 LITROS EN LAVADORA

10 minutos se eleva la temperatura a 65 ° C

- ❖ Desengomante 1 litro
 - ❖ Antirredepositante 500 mililitros
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

2^a ETAPA

- ❖ Cloro 10 litros
 - ❖ Bisulfito 500 gramos
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

3^{er} ETAPA TALLADO

40 – 60 minutos se eleva la temperatura a 40° C

- ❖ Antirredepositante 500 mililitros
 - ❖ Acético 750 mililitros
 - ❖ Encimas 500 mililitros
- DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

4 ^a ETAPA LAVADO

10 minutos se eleva la temperatura a 80 ° C

- ❖ Detergente 300 mililitros
 - ❖ Carbonato 1 kilogramo
 - ❖ Peroxido 500 mililitros
- Enjuagar dos veces
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)
DESCARGA (200 litros)
SE CARGA (200 litros)

- ❖ Blanco óptico 100 mililitros
- ❖ Suavisante 1 litro SE DESACARGA (200 litros)

Obteniendo de acuerdo a esta lista numerada de pasos se obtiene el proceso denominado azul cielo.



➤ **TEÑIDO**

Siguiente proceso es el teñido que puede ser de varios colores (negro, café, verde, petróleo);

1^{er} ETAPA DESENGOME

INICIO 300 LITROS EN LAVADORA

10 minutos se eleva la temperatura a 70 ° C

- ❖ Desengomante 1 litro

DESCARGA (200 litros)

SE CARGA (200 litros)

2^a ETAPA TEÑIDO

5 minutos de 70 ° C se eleva la temperatura a 90 ° C

- ❖ Detergente 250 mililitros

- ❖ Sosa 400 gramos

- ❖ Color 5 Kg. (variable de acuerdo a color)

DESCARGA (200 litros)

SE CARGA (200 litros)

- ❖ Sal 20 kilogramos

Durante 40 minutos a 90 ° C

DESCARGA (200 litros)

SE CARGA (200 litros)

- ❖ Acético 1 litro

10 minutos

Enjuagar dos veces

DESCARGA (200 litros)

SE CARGA (200 litros)

DESCARGA (200 litros)

SE CARGA (200 litros)

10 minutos a 40 ° C

- ❖ Suavizante 2 litros

- ❖ Acético 300 mililitros

DESCARGA (200 litros)



Obteniendo de acuerdo a esta lista numerada de pasos se obtiene el proceso denominado teñido.

Estos procesos son los más requeridos en la industria de la mezclilla, teniendo la cantidad promedio de producción en una semana de 4000 prendas procesadas, esta cifra depende mucho de la agilidad del trabajador y en especial de la demanda en el mercado, así tanto puede ser solo de un solo tipo de proceso azul o azul cielo y/o teñido.



A) Instalaciones Empresa COLMAR



B) Empresa COLMAR



C) Proceso de lavado



D) Tallado con piedra



E) Tallado con piedra



F) Tallado con piedra



G) Lavado de la prenda

Empresa COL-MART es dedicada en su totalidad al proceso de la mezclilla, dando empleo a trabajadores del municipio siendo fuente de empleo segura y de acuerdo a la calidad de desempeño se obtiene lo buscado en cada trabajador.

BIBLIOGRAFIA

1. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática,
<http://www.inegi.gob.mx>
2. Datos estadísticos, EMPRESA COLMAR



CAPITULO 5 SELECCION DEL METODO DE TRATAMIENTO

5.1 NECESIDADES DEL TRATAMIENTO

Son pocas las operaciones de ingeniería que pueden llevarse a cabo con buenos resultados si se carece de un suministro adecuado de agua convenientemente acondicionada, el agua de una calidad satisfactoria para una serie de condiciones, puede ser totalmente inadecuada para otros fines.

La concentración de descarga de residuos líquidos industriales textiles, crea el problema de vertirla directamente al alcantarillado sin darle ningún tipo de tratamiento, es necesario resolver este problema para preservar el ambiente y el bienestar publico.

Usualmente, es necesario recurrir a un sistema de tratamiento para las aguas residuales y así hacer una eliminación de los contaminantes, los residuos obtenidos como consecuencia de este proceso pueden quemarse, enterrarse o utilizarse para fines comerciales.

El objetivo de todos los métodos de tratamiento de las aguas residuales empleados hasta hoy, ha sido transformarlas de un residuo que pueda evacuarse sin perjuicios y en ciertos casos evitar la contaminación de las aguas y bienes nacionales. Los beneficios económicos solo han sido considerados en un grado secundario.

El diseño y criterio que se utilizó para la elaboración de un tratamiento efectivo para las aguas residuales textiles de acuerdo a cada una de las características que se determinaron por medio de la elaboración de pruebas de laboratorio.

De acuerdo a cada uno de los procesos de la industria se pudo determinar cual era el tratamiento adecuado, ya que en laboratorio se pudo determinar mediante ensayos cual era la opción más factible y económica¹.



5.2 ESTUDIOS PRELIMINARES

Una vez que se ha decidido construir una planta, seleccionado el sitio y definido la fuente de abastecimiento se deben realizar estudios de mayor detalle como:

- Calidad del agua
- Pruebas de tratabilidad

Con lo que se podrá seleccionar los esquemas de tratamiento y determinar el sistema de tratamiento a utilizar en la planta.

Calidad del agua

Es preciso conocer la calidad del agua y su variabilidad, si ocurre, con suficiente detalle para seleccionar los procesos útiles. Conviene que ello sea en forma previa a las pruebas de tratabilidad para que sea esta información la que determina cuáles se deban realizar. Para definir la calidad, lo ideal sería que para cualquier tipo de agua como mínimo se determinen todos los parámetros que conforman la NOM-002 que es en la que nos vamos a basar, para ver cuáles se encuentran fuera de ella y en qué magnitud. Como ello no siempre es posible, y en ocasiones incluso resulta innecesario, a continuación se dan algunas recomendaciones.

Se puede realizar muestras simples y puntuales. Conviene llevar a cabo al menos dos muestreos, en diferentes días y añadir el número de confirmaciones necesarias sobre parámetros específicos hasta no tener una desviación entre los datos del 5 al 10%, sin considerar la precisión del análisis. Los análisis por determinar serían los indicados en la primera columna de la Tabla 5.1 donde se clasifican los parámetros en las siguientes tres categorías²:

Indispensables: Aquellos que se deben hacer desde un inicio y que determinan no sólo el tipo de tratamiento sino que incluso pueden conducir a un cambio en la selección de la fuente.

No indispensables: Aquellos que por estar relacionados con otros parámetros o que no son determinantes para la selección de un tipo de tratamiento pueden ser evaluados durante las pruebas de tratabilidad.

Eventuales: Aquellos cuya presencia se relaciona con cierto tipo de suelos y condiciones geohidrológicas y que pueden no ser considerados, a juicio de un especialista que posea información sobre la calidad del agua en pozos vecinos, el tipo de suelo o la historia de la región. Se señala que en esta lista puede haber parámetros que resulten indispensables.



Muestreo inicial	Muestreo complementario
Indispensables	
Coliformes fecales	Fenoles o compuestos fenólicos
Color	2,4 – D
Turbiedad	Tolueno
COT	Xileno (tres isómeros)
Dureza total (como CaCO ₃)	Trihalometanos totales
Fierro	Nitrógeno amoniacial
Nitrógeno total	Nitrógeno orgánico
Manganese	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)
Nitratos	
Nitritos	
PH	
Sólidos disueltos totales	
Sulfatos (como SO ₄ =)	
Benceno	
Etilbenceno	
Potencial para la formación de trihalometanos	
No indispensables	
Coliformes totales	Sodio
Eventuales	
Aluminio	Olor
Arsénico	Sabor
Bario	Aldrín y dieldrín (separados o combinados)
Cadmio	Clordano (total de isómeros)
Cianuros (como CN-)	DDT (total de isómeros)
Cloruros (como Cl-)	Gamma-HCH (lindano)
Cobre	Hexaclorobenceno
Cromo total	Heptacloro y epóxido de heptacloro
Fluoruros (como F-)	Metoxicloro
Mercurio	
Pbomo	
Yodo residual libre	
Zinc	
Radiactividad alfa global	
Radiactividad beta global	

Tabla No. 5.1 Análisis para determinar la calidad del agua de una fuente subterránea



Pruebas de tratabilidad

Concluida la caracterización del agua e incluso durante la parte final de este proceso se pueden realizar las pruebas de tratabilidad. Éstas consisten en someter el agua a los procesos y operaciones que se supone puedan eliminar o reducir los contaminantes que exceden la norma. Conviene a priori no eliminar procesos y efectuar una amplia comparación en laboratorio para ahorrar durante la construcción y operación de la planta de tratamiento. Las pruebas de tratabilidad son independientes de la aplicación de una determinada tecnología o marca ya que éstas sirven para definir si un determinado mecanismo de remoción aplica para los fines deseados y no tiene nada que ver con la forma ingenieril en la cual el mecanismo es puesto en práctica. Para dar un ejemplo, considere la adsorción (que es el mecanismo) el cual puede ser realizado en resinas sintéticas, zeolitas o en carbón activado. En la tabla 5.2 se relacionan los principales procesos de tratamiento empleados con las pruebas de tratabilidad por desarrollar en laboratorio. La tarea aquí del organismo operador consiste en encargar la realización de dichas pruebas a universidades, centros de investigación, consultoras y a ciertos laboratorios con suficiente capacidad técnica. Para ayudar en este proceso, se incluye la tabla 5.3 la cual proporciona una idea aproximada del costo y tiempo que toma realizar las pruebas de tratabilidad, así como el nivel técnico del laboratorio que debe realizarlas. Debe tenerse en mente que los costos señalados en la tabla 5.3 representan un orden de magnitud y en ningún caso constituyen una cotización, la cual deben ser presentada y sustentada por los laboratorios interesados mostrando mano de obra, costos por análisis y construcción de pilotos³.



Objetivo	Proceso/ Tecnología	Mecanismo de remoción	Prueba de tratabilidad
Remoción de coliformes fecales y totales	Cloración	Oxidación	Determinación de la dosis de cloro y del tiempo de contacto
	Ozonización	Oxidación	Determinación de la dosis de ozono
	Luz Ultravioleta	Recombinación del DNA	Determinación de la dosis de luz en W/s.cm ²
Remoción de color, olor y sabor	Filtración en carbón activado	Adsorción	Determinación de isotermas
	Ozonización	Oxidación	Determinación de dosis y tiempo de contacto
Remoción de sólidos suspendidos y de turbiedad	Filtración ascendente, descendente, en arena, multicapa, etc. Micro Cribas	Filtración	Pruebas en filtro piloto para determinar la pérdida de carga máxima admitida, la distribución del perfil de pérdida de carga, la profundidad recomendable del lecho, la duración de la corrida y las condiciones de lavado.
	Coaguladores de lecho de lodos, coaguladores convencionales. Flotación con aire disuelto.	Coagulación-flocculación	Pruebas de jarras para determinar dosis y tiempos óptimos tanto para el coagulante como el flocculante
	Sedimentación convencional Sedimentación de alta tasa.	Aceleración debida a la gravedad	Es poco común realizar pruebas de tratabilidad para este proceso, en caso de hacerlo se usan los estudios en columna de sedimentación para determinar la carga máscica aceptable así como la carga hidráulica recomendable en combinación con la altura crítica de sedimentación.
Remoción de dureza	Ablandamiento con cal, sosa y cal. Remoción selectiva de carbonato, tratamiento en partes	Precipitación	Determinación de dosis en pruebas de jarras
	Intercambio iónico Desmineralización	Adsorción	Isotermas
	Filtración con zeolitas	Adsorción	Isotermas
Remoción de Hierro y Manganeso	Aireación	Oxidación	Determinación de la tasa de aplicación de aire

Tabla No. 5.2 Objetivo del tratamiento y pruebas de tratabilidad



Objetivo	Proceso/ Tecnología	Mecanismo de remoción	Prueba de tratabilidad
	Filtración en zeolitas. Intercambio iónico	Adsorción y oxidación	Determinación de las isotermas de Langmuir o de Freundlich para definir la cantidad de zeolitas por emplear
	Ablandamiento	Precipitación	Determinación de dosis para ablandar y remover Fe y Mn
Ajuste de pH	Acidificación o basificación	Neutralización	Curvas de neutralización
Remoción de sólidos disueltos	Osmosis inversa	Filtración en superficie selectiva	Determinar el Índice de filtración en membranas, determinación de la membrana óptima en cuanto a la composición y durabilidad
	Ultra filtración	Filtración en superficies activas	Determinación del índice de filtrabilidad, rechazo y tipo de membrana
	Electrodiálisis	Separación iónica	Comportamiento de los iones al pasar una corriente eléctrica, y capacidad eléctrica de la solución.
Remoción de compuestos orgánicos	Coagulación floculación	Coagulación	Pruebas de jarras
	Ozonización	Oxidación	Dosis y tiempo de contacto
	Carbón activado	Adsorción	Isothermas de Freundlich o Langmuir
Remoción de Metales	Precipitación	Precipitación	Prueba de jarras o precipitación
Remoción de Trihalometanos	Carbón activado	Adsorción	Isothermas de Langmuir o de Freundlich
Control de la Corrosión	Ajuste de pH	Neutralización	Pruebas de neutralización
	Adición de CO ₂	Estabilización	Cantidad de CO ₂ transmitido y tasa para estabilizar la solución
	Protección catódica	Estabilización eléctrica	Comportamiento en laboratorio del Fe y su deposición en electrodos
Remoción de gases	Aireación	Desorción	Pruebas de desorción en columnas para determinar la tasa de aireación

Tabla No. 5.2 Objetivo del tratamiento y pruebas de tratabilidad (Continuación)



Proceso/ Tecnología	Prueba de tratabilidad	Nivel del laboratorio	Duración	Costo
Cloración	Determinación de la dosis de cloro y del tiempo de contacto	Medio	1 a 2 semanas	5 000 a 10 000
Ozonización	Determinación de la dosis de ozono para desinfectar	Alto	1 a 2 semanas	10 000 a 30 000
	Determinación de dosis de ozono para eliminar color, olor y sabor	Alto	3 a 5 semanas	20 000 a 100 000 según se trate de color, olor o sabor
	Para remoción de compuestos orgánicos	Alto	4 a 10 semanas	50 000 a 250 000, según tipo de compuestos involucrados
Luz ultravioleta	Determinación de la dosis de luz en W/s.cm	Alto	1 a 2 semanas	10 000 a 20 000
Filtración ascendente, descendente, en arena, multicapa, etc.	Pruebas en filtro piloto para determinar pérdida de carga máxima, distribución del perfil de la perdida de carga, profundidad recomendable del lecho, duración de las corridas y condiciones de lavado	Medio	1 a 2 meses	50 000 a 100 000, según sean el número de medios que se deseé probar
Coaguladores de lecho de lodos, coaguladores convencionales	Para remoción de turbiedad y sólidos suspendidos realizar pruebas de jarras para determinar dosis, tiempo y pH óptimos para la floculación, gradiente y dosis y tipo de polímero óptimo	Medio	2 a 4 semanas	30 000 a 100 000 según sea el número de coagulantes y polielectrolitos por analizar
Adsorción en carbón activado	Para remoción de compuestos orgánicos como los húmicos realizar pruebas de jarras haciendo un amplio estudio de las dosis y combinaciones coagulante-polímero	Alto	4 a 6 semanas	100 000 a 250 000 según tipo de contaminantes

Tabla No. 5.3 Duración de las pruebas de tratabilidad y costo aproximado



Proceso/ Tecnología	Prueba de tratabilidad	Nivel del laboratorio	Duración	Costo
Sedimentación	Es poco común realizar pruebas de tratabilidad para este proceso, en caso de hacerlo se usan los estudios en columna de sedimentación para determinar la carga mísica aceptable así como la carga hidráulica recomendable en combinación con la altura crítica de sedimentación	Medio	1 a 2 semanas	10 000 a 15000
Ablandamiento con cal, sosa cal, remoción selectiva de carbonato, tratamiento por partes	Determinación de la dosis de reactivos y sus combinaciones óptimas. Estudio para definir la conveniencia de combinar la precipitación con la coagulación	Alto	4 a 6 semanas	30 000 a 100 000 según el número de tecnologías por probar así como reactivos y sus combinaciones.
	Para remoción de hierro y de manganeso. Determinación de dosis de reactivos y conveniencia de combinar con coagulación. Evaluar el efecto de interferencias	Alto	4 a 6 semanas	30 000 a 100 000 según el número de tecnologías por probar así como reactivos y sus combinaciones.
Intercambio iónico	Para remoción de dureza, determinar isotermas, cantidad de resina y tiempo de vida	Alto	2 a 6 semanas	20 000 a 100 000
	Para desmineralización	Alto	2 a 6 semanas	40 000 a 150 000
Adición de CO ₂	Determinar tasa de aireación y coeficientes de transferencia	Medio	2 a 4 semanas	25 000 a 100 000
Ajuste de pH	Determinar curvas de neutralización	Bajo	1 a 2 semanas	5 000 a 10 000

Tabla No. 5.3 Duración de las pruebas de tratabilidad y costo aproximado (Continuación)



Proceso/ Tecnología	Prueba de tratabilidad	Nivel del laboratorio	Duración	Costo
Filtración con zeolitas	Para ablandamiento Determinación de las isotermas de Langmuir o de Freundlich para definir la cantidad de zeolitas por emplear	Medio	2 a 6 semanas	20 000 a 100 000
	Para remoción de hierro y manganeso			
Aireación	Para remoción de Hierro y manganeso, determinar la tasa de aireación, altura adecuada y tiempo de contacto	Alto	4 a seis semanas	100 000 a 200000
	Para desgasificación, determinar la tasa de desorción y la de aireación			
Osmosis Inversa	Determinar el Índice de filtración en membranas, determinación de la membrana óptima en cuanto a la composición y durabilidad	Alto	6 semanas a 6 meses como mínimo si se desea conocer la duración de la membrana	50 000 (si sólo se determina el índice de filtración en diferentes membranas) hasta 350 000 para efectuar una prueba en un modelo físico
Ultrafiltración	Determinar el Índice de filtración en membranas, determinación de la membrana óptima en cuanto a la composición y durabilidad	Alto	6 semanas a 6 meses como mínimo si se desea conocer la duración de la membrana	50 000 (si sólo se determina el índice de filtración en diferentes membranas) hasta 350 000 para efectuar una prueba en un modelo físico
Electrodialisis	Determinar la magnitud del campo y tiempos alternos de aplicación para la eficiencia requerida	Alto	2 a 4 semanas	50 000 a 100 000
Precipitación	Para remoción de metales determinar dosis de reactivos y combinaciones optimas	Medio	2 a 4 semanas	50 000 a 100 000
Protección catódica	Determinar en un piloto el comportamiento	Medio	2 a 6 seis semanas	25 000 a 150 000

Tabla No. 5.3 Duración de las pruebas de tratabilidad y costo aproximado (Continuación)



Proceso/ Tecnología	Prueba de tratabilidad	Nivel del laboratorio	Duración	Costo
Carbón activado	Para remoción de materia orgánica determinar isotermas y compara costos entre diversos tipos de carbón activado	Alto	4 a seis semanas	50 000 a 150 000
	Para remoción de trihalometanos, determinar isotermas y compara diversos tipos de carbones	Alto	4 a seis semanas	150 000 a 300 000

Tabla No. 5.3 Duración de las pruebas de tratabilidad y costo aproximado (Continuación)

5.3 PROCESOS DE REMOCIÓN

A continuación se menciona de forma general los procesos y las tecnologías para cumplir con los objetivos derivados de la NOM-002- ECOL-1996

Entre los factores que influyen en la acción de un desinfectante se encuentra para los agentes químicos el tiempo de contacto, temperatura, tipo y naturaleza del compuesto en tanto que para los físicos importa la intensidad, tiempo y naturaleza. De todos ellos, es el tiempo de contacto comúnmente la variable principal. Chick en 1908, estableció que existe una relación inversamente proporcional entre el número de microorganismos sobrevivientes a la acción de un desinfectante y el tiempo de contacto.

En todos los casos interviene también, el número y tipo de organismos así como su estado de desarrollo. Por ejemplo, las esporas de bacterias son extremadamente resistentes mientras que las bacterias en crecimiento son muy sensibles. A su vez, los protozoarios (como las amibas) son más resistentes que las bacterias (como los coliformes fecales).

En las Plantas de tratamiento además debe ponerse atención en el tipo de proceso que se use para evitar la formación de compuestos no deseados, ello se logra removiendo los precursores de los organoclorados, quitándolos una vez formados, o bien, usando los desinfectantes no halogenados como ozono o luz ultravioleta. Sin embargo, debido al costo de los dos últimos, rara vez se usan en México y no debe quedar duda en cualquier organismo operador que lo correcto es desinfectar el agua aunque sea con cloro para evitar el riesgo de diseminar enfermedades hídricas en lugar de evitar los riesgos que provocan los compuestos organoclorados. Una forma empleada para evitar la aparición de organoclorados cuando hay materia orgánica presente en el agua y se tiene que usar la cloración consiste en añadir al agua nitrógeno amoniaco para producir cloraminas que por ser menos reactivas no atacan la materia orgánica pero realizan la desinfección en un mayor tiempo de contacto.



Remoción de color, olor y sabor

Puesto que estas propiedades se asocian comúnmente con la presencia de compuestos orgánicos son los procesos orientados a su eliminación los que se deben usar. Se emplean los procesos de aireación, oxidación (permanganato de potasio, ozonización, oxidación con ozono y peróxido de hidrógeno, dióxido de cloro o cloración) y adsorción (carbón activado en polvo y grano); de acuerdo a la NOM-127 también se puede utilizar la coagulación-flocculación-sedimentación-filtración.

Remoción de Sólidos Suspensidos y de turbiedad

Los sólidos suspendidos y la turbiedad que generan son característicos de las aguas superficiales. Para su eliminación se recurre a la filtración del agua por la alta confiabilidad que este proceso tiene para producir una calidad constante. Sin embargo, debido a la variabilidad de los sólidos presentes en el agua, la presencia ocasional o no de elevadas concentraciones (superiores a 100 mg/L) y la presencia de sólidos muy finos se aplican en forma previa a la filtración procesos de coagulación-flocculación para hacer más eficiente y rentable el proceso.

Remoción de dureza

Una dureza excesiva es controlada mediante el ablandamiento para lo cual se puede emplear la cal o la sosa para precipitar el calcio y magnesio. Al agua así tratada se le añade posteriormente dióxido de carbono para estabilizarla previo a una etapa de filtración.

El ablandamiento se usa para eliminar la dureza del agua que proviene de la disolución del Ca y Mg de formaciones geológicas. La aceptación por parte del público de la dureza varía, pero generalmente es rechazada a partir de 150 mg/L.

Ajuste de pH

El ajuste de pH es importante realizarlo cuando su aplicación permite reducir el costo total del tratamiento por el empleo de los procesos. Esto es muy importante de destacar pues con frecuencia los especialistas recomiendan a los organismos operadores operar al pH óptimo basado en criterios de eficiencia que no consideran el aspecto económico. El costo de la neutralización se incrementa en forma directa con el contenido de alcalinidad del agua, que es la propiedad que le permite mantener su pH en un valor determinado.



Remoción de compuestos orgánicos

La remoción de compuestos orgánicos no solubles se realiza mediante coagulación floculación. En caso contrario se recurre a adsorción en carbón activado, oxidación con ozono y eventualmente a proceso de membrana, con costos crecientes en este mismo orden.

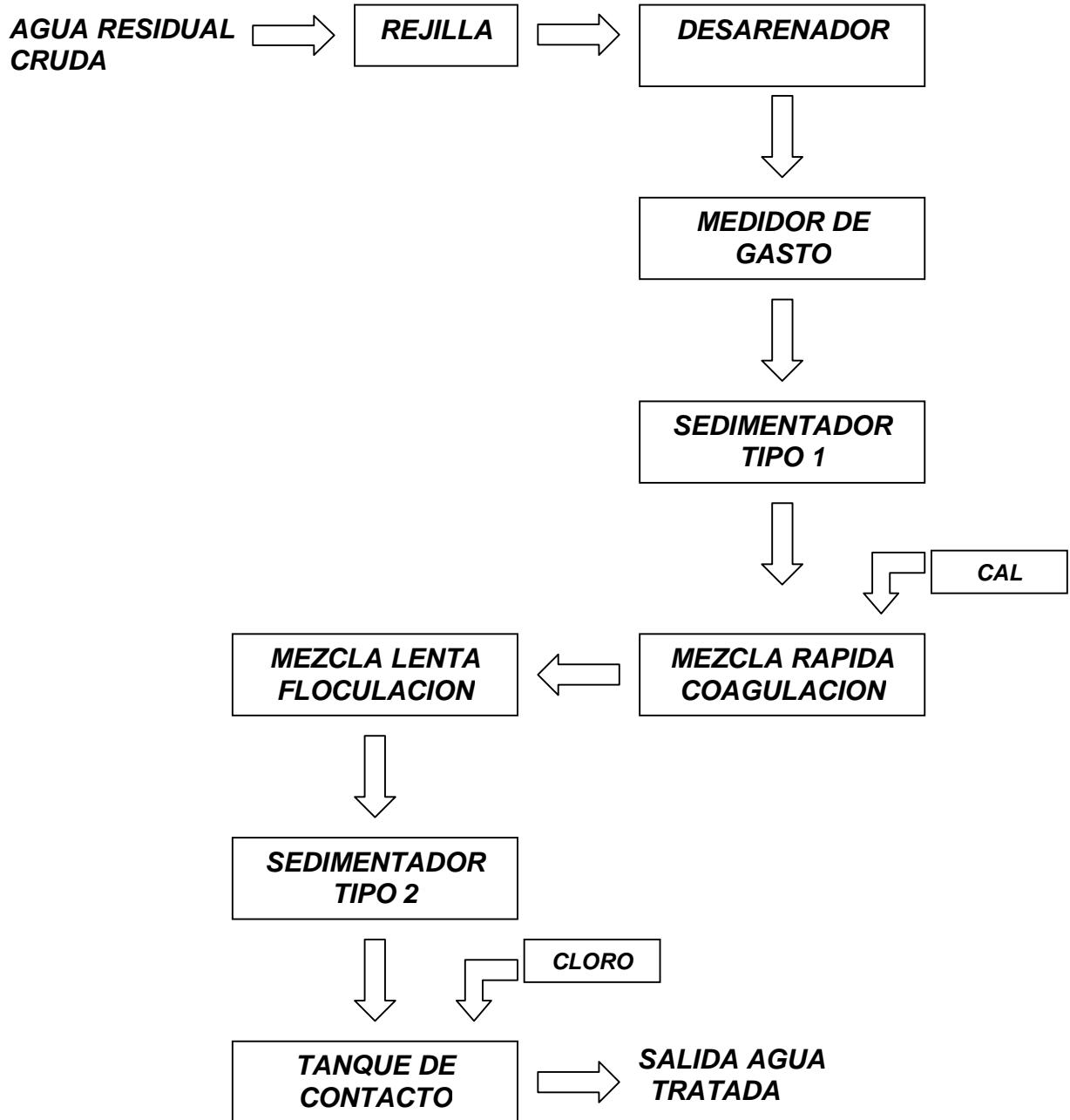
Debido a que la materia orgánica la componen gran variedad de compuestos con propiedades y efectos diversos es preciso analizar la composición de aguas con mayor detalle y realizar pruebas de tratabilidad para diferenciar la eficiencia y rentabilidad del proceso.

5.4 SELECCIÓN DEL ESQUEMA DE TRATAMIENTO

Concluidas las pruebas de tratabilidad se procede a analizar los resultados para definir cuáles son los procesos y sus combinaciones que permiten obtener el nivel deseado de tratamiento, con una elevada confiabilidad y a un costo razonable. Para la selección de los procesos debe tenerse presente que aún cuando se desee eliminar varios compuestos, parte de ello se hace por cuestiones relacionadas con la salud en tanto que otros se eliminan por factores estéticos o de la operación de los sistemas.

Con los procesos y operaciones seleccionados se integra un esquema de tratamiento. Hay que mencionar que cada operación o procesos se encuentran relacionados con los otros del esquema y por consiguiente influye de manera directa en la eficiencia global.

Debido a las características de los diversos tipos de procesos se obtuvo el siguiente esquema





5.5 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS INDUSTRIALES TEXTILES⁴

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA			
Análisis de proceso:	Azul	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR
Parámetro Analizado	Unidades	Resultados	Observaciones
Temperatura	°C	38	
Turbiedad	U.T.J.	3200	
Color	U.C.		
PH		8.32	
Acidez	mg/Lt como CaCO ₃		
Alcalinidad total	mg/Lt como CaCO ₃	310	
Dureza total	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de calcio	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de magnesio	mg/Lt como CaCO ₃		
Cloruros	mg/Lt como Cl-	499.85	
Cloro residual	mg/Lt como Cl ₂		
Sulfatos	mg/Lt como SO ₄		
Oxígeno disuelto	mg/Lt como O ₂		
Sólidos totales			
Sólidos Sedimentables	mg/Lt	5.5	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	10800	
Demanda Química de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	8200	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/Lt	2.31	
Analizo:			
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco			

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA			
Análisis de proceso:	Teñido Cafe	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR
Parámetro Analizado	Unidades	Resultados	Observaciones
Temperatura	°C	68	
Turbiedad	U.T.J.	3740	
Color	U.C.		
PH		8.5	
Acidez	mg/Lt como CaCO ₃		
Alcalinidad total	mg/Lt como CaCO ₃	242	
Dureza total	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de calcio	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de magnesio	mg/Lt como CaCO ₃		
Cloruros	mg/Lt como Cl-	5748.22	
Cloro residual	mg/Lt como Cl ₂		
Sulfatos	mg/Lt como SO ₄		
Oxígeno disuelto	mg/Lt como O ₂		
Sólidos totales			
Sólidos sedimentables	mg/Lt	5.7	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	6600	
Demanda Química de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	10200	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/Lt	2.152	
Analizo:			
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco			



LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA			
Análisis de:	Blinch	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR
Parámetro Analizado	Unidades	Resultados	Observaciones
Temperatura	°C	73	
Turbiedad	U.T.J.	3450	
Color	U.C.		
PH		7.70	
Acidez	mg/Lt como CaCO ₃		
Alcalinidad total	mg/Lt como CaCO ₃	534	
Dureza total	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de calcio	mg/Lt como CaCO ₃		
Dureza de magnesio	mg/Lt como CaCO ₃		
Cloruros	mg/Lt como Cl-	649.80	
Cloro residual	mg/Lt como Cl ₂		
Sulfatos	mg/Lt como SO ₄		
Oxígeno disuelto	mg/Lt como O ₂		
Sólidos totales			
Sólidos sedimentables	mg/Lt	5.2	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	4800	
Demanda Química de Oxígeno	mg/Lt como O ₂	4000	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/Lt	2.38	
Analizo:			
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco			

BIBLIOGRAFIA

1. Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, México 1991
2. El Agua y sus Análisis, ING. LUISA SERRANO ESPINOSA
3. COMISION NACIONAL DEL AGUA, Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Año 2004,
4. LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA SANITARIA DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, Año 2006.



CAPITULO 6 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

6.1 DATOS DEL PROYECTO¹

MUESTRA AZUL	{	Desengome Blinch o stone Tallado Lavado Enjuague
MUESTRA CAFÉ	{	Desengome 10 minutos 200lt. + 200 lt. Teñido color 25 minutos 200 lt. + 200 lt. Enjuague 5 minutos 200 lt. + 200 lt.

Si durante el proceso que dura aproximadamente 40 minutos una lavadora ocupa 1200 lt. de agua, si se ocuparan las 6 lavadoras el gasto de agua seria de 7200 lt. durante los 40 minutos trabajando simultáneamente.

7.2 m.³ ----- 2400 seg.
0.003 m.³ ----- 1 seg.

Ahora si tomamos un gasto instantáneo que seria durante el vertido de las aguas residuales de las seis lavadoras durante un tiempo de aproximadamente 3 minutos.

6 lavadoras por 400 lt. Cada una, tendríamos 2400 lt. en un tiempo de 3 minutos.

2400 lt. ----- 180 seg.
13.33 lt. ----- 1 seg.

Entonces el gasto instantáneo seria: $Q_{inst} = 0.0133 \frac{m^3}{seg.}$

Y el agua residual producida por el proceso de la industria textil $Q = 259.12 \frac{m^3}{dia}$



6.2 CALCULO DEL DISEÑO DE PRETRATAMIENTO²

6.2.1 Diseño de una rejilla manual

$$Q_{inst} = 0.0133 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V_{min ima} = 0.60 \text{ m}/\text{seg.}$$

- Se proponen las características del emparrillado

Espesor S = 0.006 m

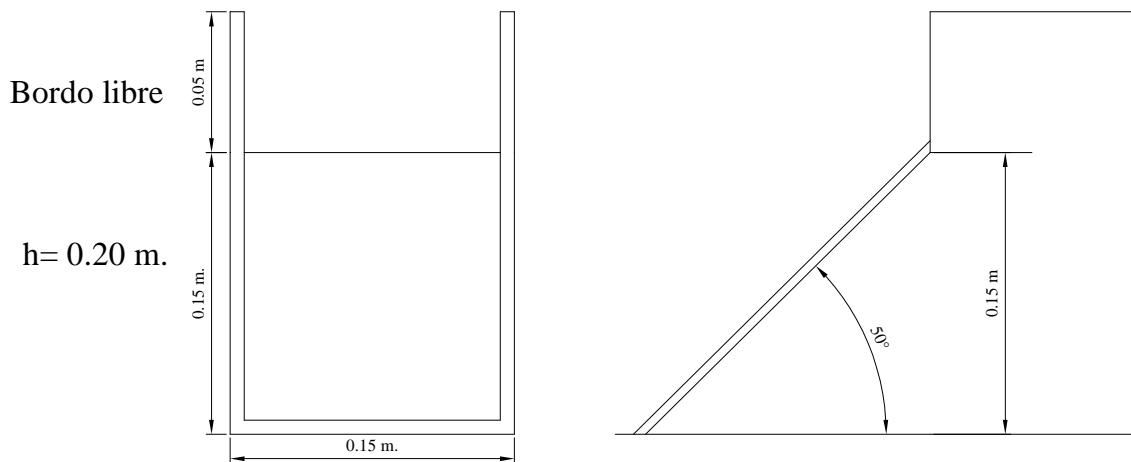
Separación e = 0.02m

- Calcular el área libre

$$A_L = \frac{Q}{V} = \frac{0.0133 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.60 \text{ m}/\text{seg}} = 0.022 \text{ m}^2$$

- Proponer un ancho de canal b = 0.15m

$$h = \frac{A_L}{b} = \frac{0.022 \text{ m}^2}{0.15 \text{ m}} = 0.148 \approx 0.15 \text{ m}$$





- Calculo de bg (suma de separaciones entre barras)

$$b = \left(\frac{bg}{e} - 1\right)(s + e) + e$$

Donde:

b =ancho del canal, mm.

bg = suma de las separaciones entre barras, mm.

e = separación entre las barras.

s = espesor de las barras.

$$b = \left(\frac{bg}{e} - 1\right)(s + e) + e$$

$$150 = \left(\frac{bg}{20} - 1\right)(6 + 20) + 20$$

$$\frac{150 - 20}{26} = \frac{bg}{20} - 1$$

$$(5 + 1)20 = bg$$

$$bg = 120 \text{ mm}$$

$$\text{hipotenusa} = \frac{h}{\sin 50} = \frac{0.15}{\sin 50} = 0.196 \text{ m}$$

$$A_L = 0.196 \text{ m}(0.120 \text{ m}) = 0.0235 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0133 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0235 \text{ m}^2} = 0.566 \text{ m}/\text{seg}$$

- El numero de barras será:

$$n = \left(\frac{bg}{e}\right) - 1 = \left(\frac{120 \text{ mm}}{20 \text{ mm}}\right) - 1 = 5$$

Por lo tanto $n = 5$



- Calcular las perdidas de carga a través de las rejillas

$$h = \beta \left(\frac{s}{e} \right)^{3/4} \frac{V^2}{2g} \operatorname{sen} \theta$$

Donde:

h = diferencia de alturas antes y después de las rejas, m.

s = espesor máximo de las barras, m.

e = separación entre las barras, m.

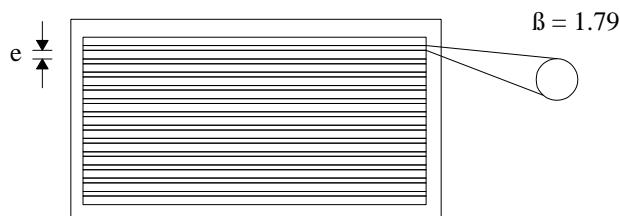
$\frac{V^2}{2g}$ =carga de velocidad antes de la reja, m.

θ = ángulo de inclinación de las barras

β = factor dependiente de la forma de las barras.

Factor $\beta = 1.79$

La sección de las barras tiene influencia en el fenómeno que modela la expresión anterior y se considera a través del factor (β), que se puede obtener de la figura siguiente;



Factor de forma de barras para rejas β

2.42	1.79	1.83	1.035	1.67	0.76	0.92

$$\text{Entonces: } h = 1.79 \left(\frac{0.006}{0.02} \right)^{3/4} \frac{0.57^2}{2(9.81)} \operatorname{sen} 50$$

$$h = 1.79(0.4054)(0.017)(0.7660) = 0.0094 \text{ m}$$



6.2.2 Calculo del diseño de un desarenador

Diseñar un tanque desarenador considerando que el gasto máximo instantáneo es de 13.33 lt/seg. Y la temperatura mínima del agua es de 40 °C. se desea remover partículas hasta de 7.5×10^{-3} cm de diámetro, con densidad de 2650 Kg./m³.

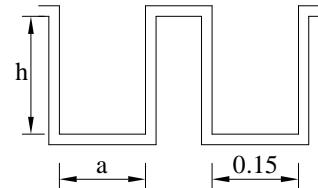
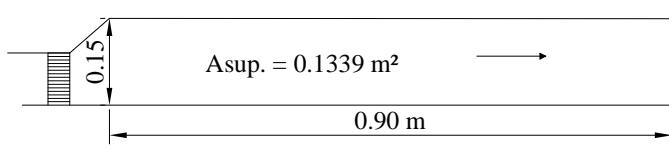
Considerando por crecimiento de producción de la empresa un gasto de 13.33 lt/seg. que es igual a 1149.12 m³/día

- Calculo del área superficial

$$A_{\text{sup}} = \frac{Q_{\text{diseño}}}{C.S.} = \frac{1149.12 \text{ m}^3/\text{dia}}{8580 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 0.1339 \text{ m}^2$$

- Revisión del tiempo de retención

$$Q = \frac{\text{Vol.}}{t} \quad t = \frac{\text{Vol.}}{Q}$$



- Calculo del tirante h por medio del gasto y la velocidad

$$Q = V * A$$

Si $V = 0.30 \text{ m/seg}$

$$Q = V * (a * h)$$

$$h = \frac{Q}{V * a} = \frac{0.0133}{(0.3)(0.15)} = 0.2956 \text{ m}$$

- Calculamos el volumen con los datos hasta el momento obtenidos

$$\text{Vol.} = \text{long.} \times \text{Ancho} \times \text{tirante}$$

$$\text{Vol.} = 0.90 \text{ m} (0.15 \text{ m}) (0.30 \text{ m}) = 0.0405 \text{ m}^3$$

- Se calcula en tiempo

$$t = \frac{Vol.}{Q}$$

$$tiempo = \frac{0.0405 \text{ m}^3}{0.01333 \text{ m}^3/\text{seg}} = 3.05 \text{ seg.}$$

Como el tiempo de retención es muy pequeño, por criterio tomamos 15 segundos;

$$Vol. = long. \times Ancho \times tirante$$

$$Vol. = Q * t$$

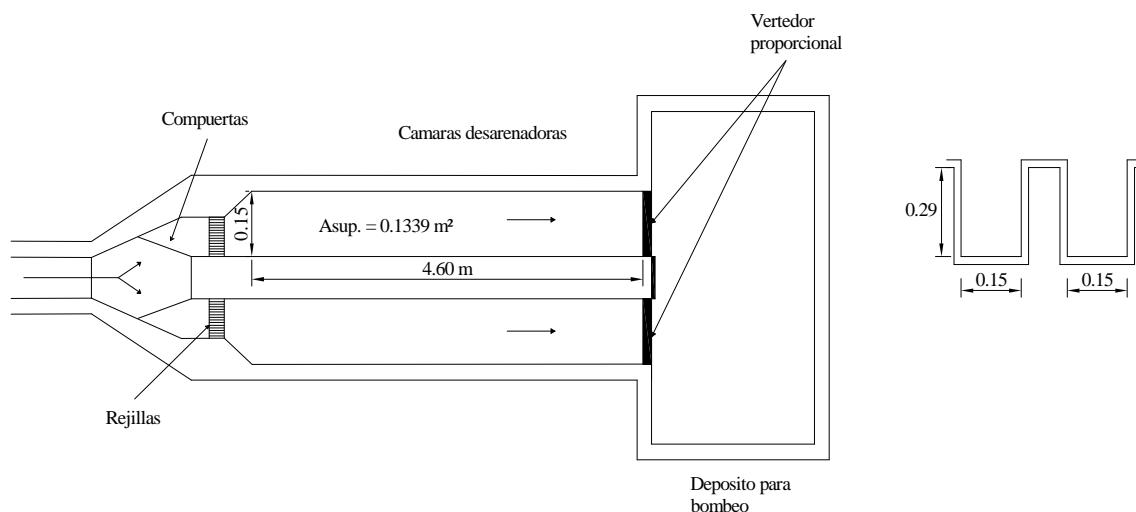
$$Vol. = 0.0133 \text{ m}^3/\text{seg} (15 \text{ seg.}) = 0.1995 \text{ m}^2$$

- Calculo de la longitud.

$$Vol. = long. \times Ancho \times tirante$$

$$long. = \frac{Vol.}{Ancho * tirante}$$

$$long. = \frac{0.1995 \text{ m}^3}{0.15 \text{ m} * 0.29 \text{ m}} = 4.586 \text{ m}$$



- Revisión de la velocidad mínima

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0133 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.15 \text{ m} * 0.29 \text{ m}} = 0.306 \text{ m}/\text{seg}$$



6.2.3 Calculo del diseño del vertedor

El vertedor proporcional de Rettger (figura 6.2) se usa en el diseño de desarenadores.

La ecuación del gasto en el vertedor proporcional es:

$$Q_{ME} = 2.74\sqrt{ba}(H - \frac{a}{3})$$

Despejando b:

$$b = \left(\frac{Q_{ME}}{2.74(H - \frac{a}{3})} \right)^2$$

➤ Conversión de unidades de acuerdo al método utilizado

Si 1 pie³=0.0283 m³

$$Q = 0.0133 \text{ m}^3/\text{seg.} = 0.47 \text{ pies}^3/\text{seg.}$$

$$h = 0.255 \text{ m} = 0.84 \text{ pies}$$

Gasto de diseño:

$$Q_{diseño} = 0.0133 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$K = l * h^{\frac{1}{2}}$$

$$l_x = \frac{k}{h^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = 0.081 \text{ pies} (0.84 \text{ pies})^{\frac{1}{2}} = 0.074 \text{ pies} = 0.0226 \text{ m}$$

$$l_x = \frac{0.074 \text{ pies}}{0.84^{\frac{1}{2}} \text{ pies}} = 0.025 \text{ pies}$$

$$l = \frac{Q}{7.5h^{\frac{3}{2}}}$$

$$l = \frac{0.47 \text{ pies}^3/\text{seg.}}{7.5(0.84 \text{ pies})^{\frac{3}{2}}} = 0.081 \text{ pies} = 0.025 \text{ m}$$

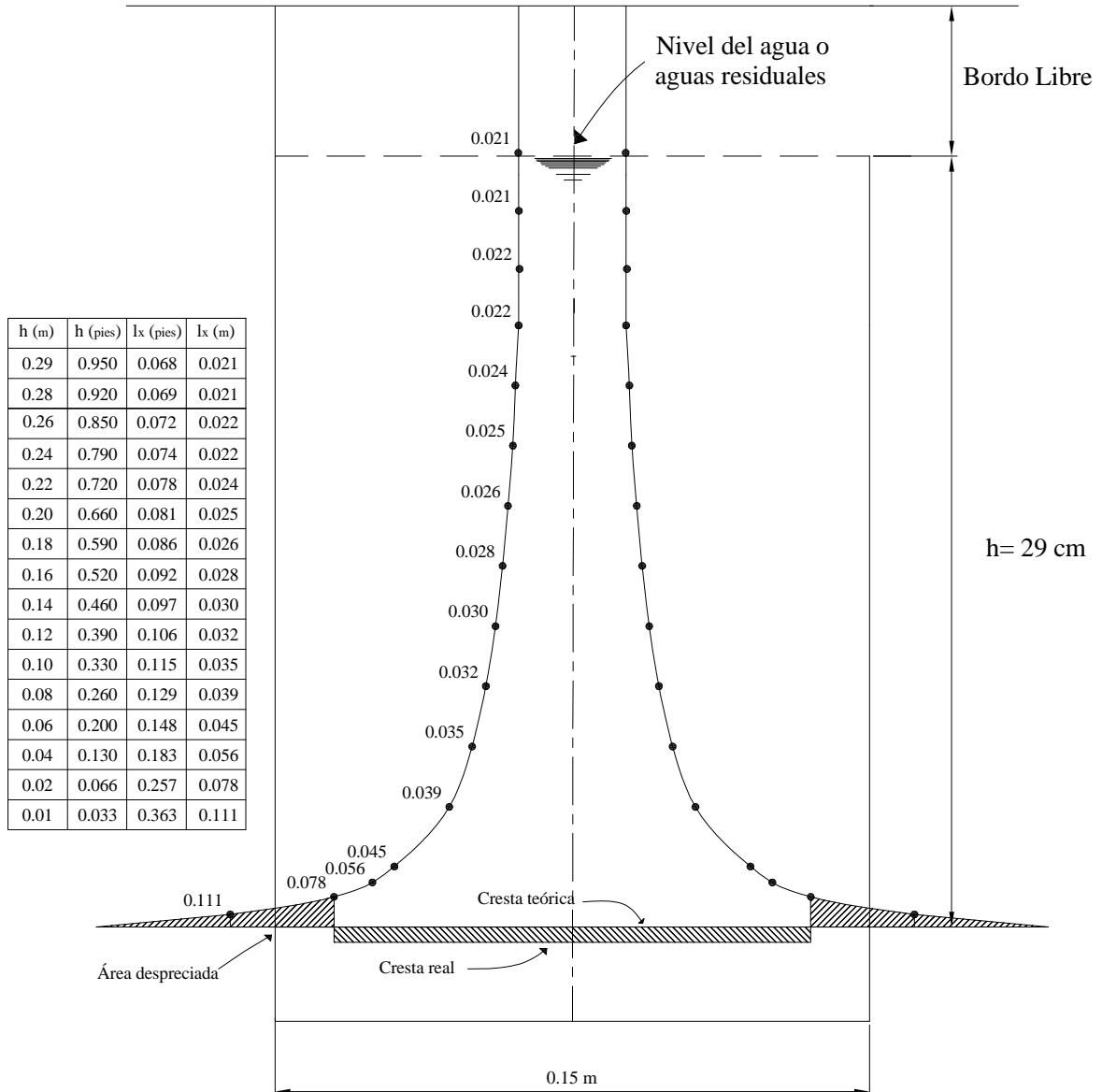
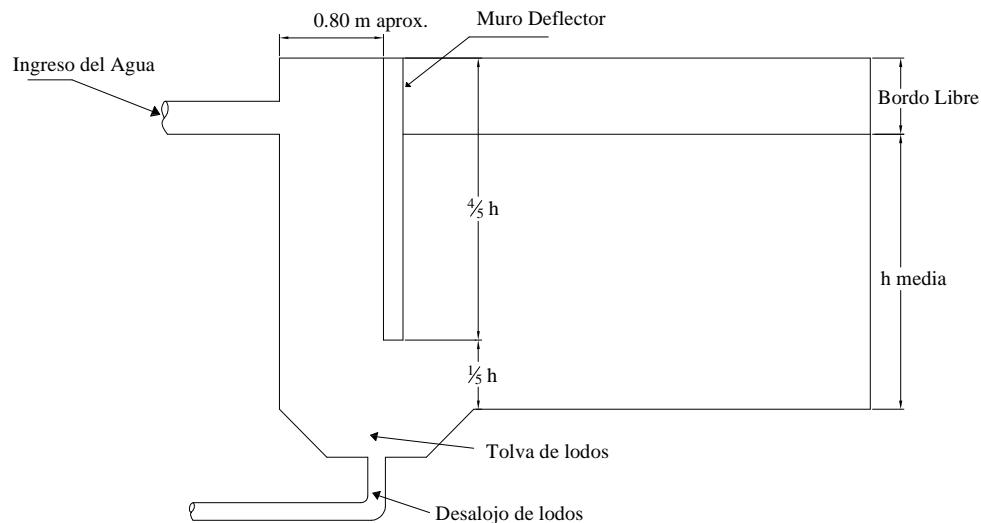


Figura (6.2). Vertedor Rettger de gasto proporcional.

6.3 Calculo del diseño de tratamiento primario

6.3.1 Diseño del sedimentador primario.



Datos de diseño:

Tipo: Rectangular convencional.

Muro: Horizontal

Tiempo de retención: 2 a 2.5 hrs.

H : 1.5 a 4.5 m.

V : 8 mm/seg.

Carga Superficial: 30 a 50 m³/m²/dia

$$Q = 1149.12 \text{ m}^3/\text{dia} = 13.33 \text{ lt/seg}$$

Se propone una carga superficial de 30 m³/m²/dia

➤ Calculo del área superficial

$$A_{\text{sup}} = \frac{1149.12 \text{ m}^3/\text{dia}}{30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 38.30 \text{ m}^2$$

Velocidad mínima es de 30 cm/seg.

➤ Se propone una relación $\frac{L}{a} = 12$

Entonces $L = 12a$

Por lo tanto:

$$A = L * a$$

$$A_{\text{sup}} = 12a^2$$

$$a = \left(\frac{A_{\text{sup}}}{12} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{38.30 \text{ m}^2}{12} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.78 \text{ m} \approx 2.00 \text{ m}$$

$$l = \frac{A_{\text{sup}}}{a} = \frac{38.30 \text{ m}^2}{2.00 \text{ m}} = 19.15 \text{ m}$$

➤ Profundidad del tanque

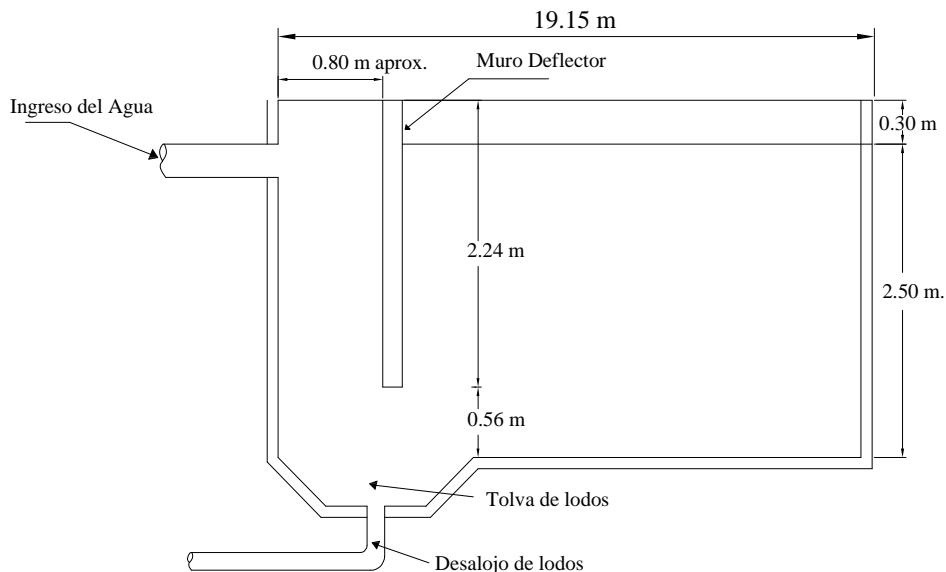
Se propone un tirante de 2.5 m (al centro del tanque) y un bordo libre de 30 cm.

➤ Revisión del tiempo de retención

$$\text{Vol.} = 19.15 \text{ m} (2.00 \text{ m}) (2.50 \text{ m}) = 95.75 \text{ m}^3$$

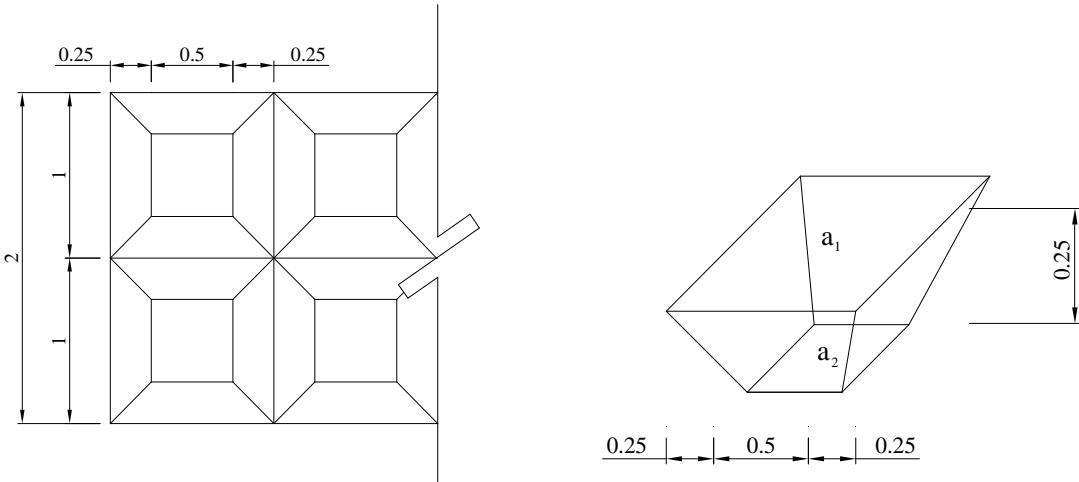
$$Q = 0.01333 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$tr = \frac{\text{Vol.}}{Q} = \frac{95.75 \text{ m}^3}{0.01333 \text{ m}^3/\text{seg}} = 7183.05 \text{ seg.} = 1.995 \text{ hrs}$$



Calculo de las tolvas de lodos.

$$Q_{diseño} = 13.33 \frac{lt}{seg.} = 1149.12 \frac{m^3}{dia}$$



Eficiencia de sedimentación = 65 a 70% (remoción de sólidos suspendidos totales)
 Sólidos suspendidos totales 260 mg/lt

Concentración de lodos en el sedimentador = 1 a 3%

Se propone una eficiencia del 65% y una concentración de lodos del 2%.

➤ Calculo de la masa de sólidos retenidos.

$$Ms = (Q_{diseño})(S.S_{totales})(Eficiencia)$$

$$Q_{diseño} = 1149.12 \frac{m^3}{dia}$$

$$S.S_{totales} = 260 \frac{gr}{m^3}$$

$$Eficiencia = 0.65\%$$

$$Ms = (1149.12 \frac{m^3}{dia})(260 \frac{gr}{m^3})(0.65) = 194201.28 \frac{gr}{dia}$$

$$Ms = 194.20 \frac{kg}{dia}$$



Volumen de lodos producidos diariamente

$$V_L = \frac{M_s}{\text{Concentración}}$$

$$M_s = 194.20 \text{ kg/dia}$$

$$\text{Concentración} = 20\,000 \text{ gr/m}^3$$

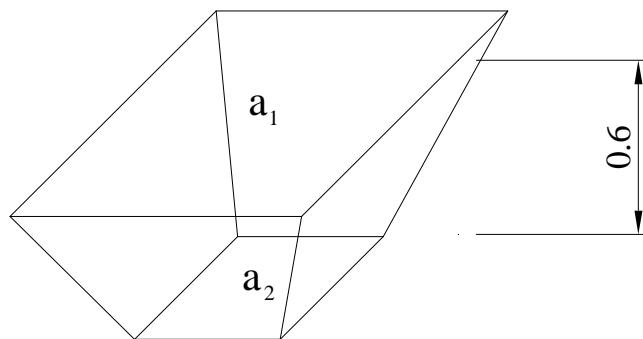
$$1\% = 10\,000 \text{ mg/l}$$

$$V_L = \frac{194201.28 \text{ gr/dia}}{20000 \text{ gr/m}^3} = 9.71 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Como las tolvas se limpiaran cada 8 hrs, se calculara el volumen de lodo de la tolva el haber transcurrido 8 hrs.

$$\frac{9.71 \text{ m}^3}{24 \text{ hrs}} = \frac{x}{8 \text{ hrs}} \quad x = 3.24 \text{ m}^3$$

$$\frac{3.24 \text{ m}^3}{0.15 \text{ m}^3} = 21.60 \approx 22 \text{ tolvas}$$



$$V = \frac{h}{3}(a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 a_2})$$

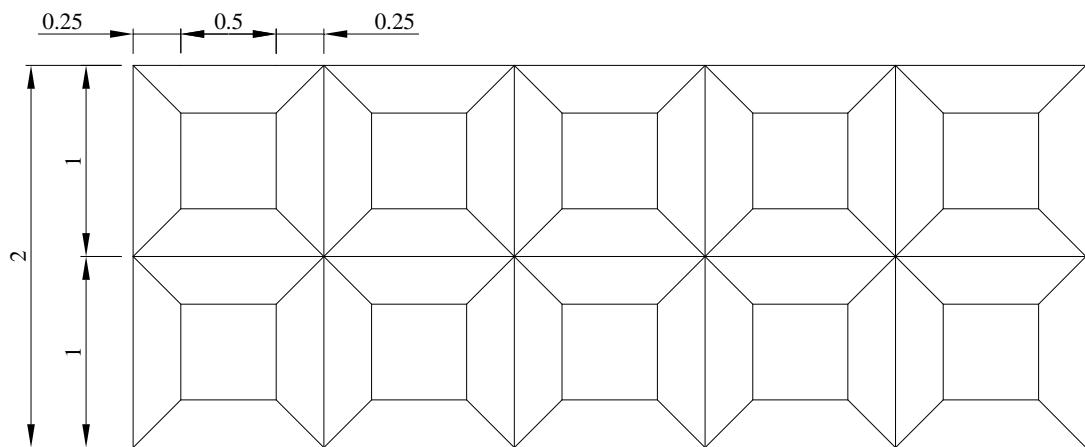
$$V = \frac{0.60}{3}(1 + 0.25 + \sqrt{(1)(0.25)})$$

$$V = 0.35 \text{ m}^3$$



Entonces:

$$\frac{3.24 \text{ m}^3}{0.35 \text{ m}^3} = 9.26 \approx 10 \text{ tolvas}$$



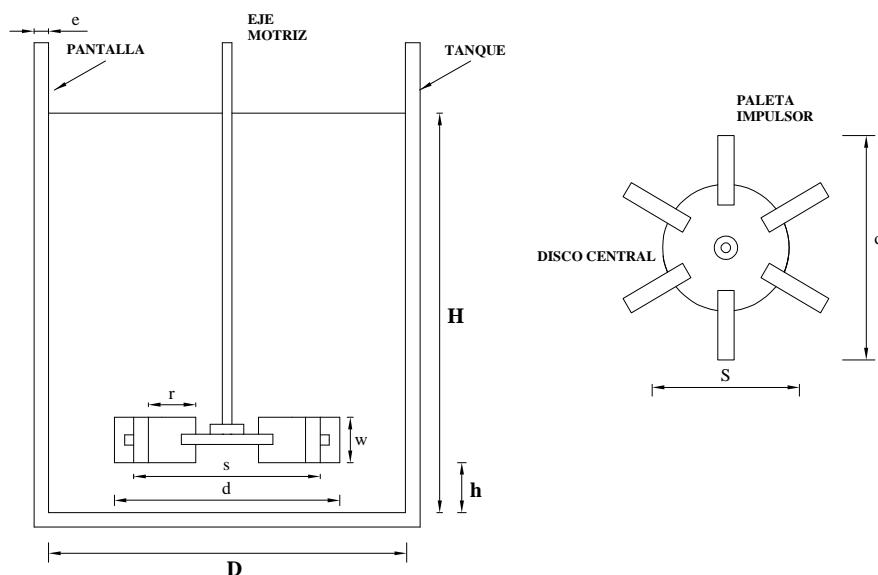
6.4 Calculo del diseño de tratamiento secundario³

6.4.1 Diseño del agitador de mezcla rápida.

Se desea hacer mezcla rápida de un agua con una turbina de 6 aletas planas de 0.5m de diámetro, para una planta que trata 13.33 lt/seg. La dosis óptima de cal es de 20 grs/lt, a una temperatura media de 30º C para la muestra de proceso color café

La dosis óptima es:
 1.2 gr. -----600 ml
 2.0 gr. — 1000 ml

➤ Para una cámara cilíndrica las dimensiones recomendadas por Richter son:



$$\begin{aligned} \frac{D}{d} &= 3 \\ \frac{e}{D} &= \frac{1}{10} \\ 2.7 \leq \frac{H}{d} &\leq 3.9 \\ 0.75 \leq \frac{h}{d} &\leq 1.3 \\ \frac{B}{d} &= \frac{1}{4} \\ \frac{w}{d} &= \frac{1}{5} \end{aligned}$$

Suponiendo

$$\frac{D}{d} = 3; \frac{H}{d} = 3; \text{ se tiene } D = H$$

➤ Por lo tanto el volumen lo obtenemos de la siguiente forma:

$$Vol. = Q * t = 0.0133 \frac{m^3}{seg} * 60 \text{ seg} = 0.798 m^3$$

$$\frac{\pi}{4} D^3 = 0.798 m^3$$

$$D = 1.00 m$$



- El diámetro de la turbina seria;

$$d = \frac{D}{3}$$

$$d = \frac{1.00}{3} = 0.33 \text{ m}$$

De acuerdo a las pruebas de jarras se obtuvieron resultados en laboratorio aplicada a la muestra del proceso color café

- La potencia requerida, según Rushton de acuerdo a la ecuación:

$$P = Kp N^3 d^5$$

Donde:

P = Potencia requerida, W

K = Constante (6.3)

P = Densidad del agua (995.68 kg/m³ para 30°C)

d = Diámetro del impulsor, m.

N = Velocidad del impulsor, revoluciones/ seg.

Así tenemos que la potencia es:

$$P = 6.3(995.68 \text{ kg/m}^3)(3.33 \text{ seg})^3(0.33 \text{ m})^5 = 906.49 \text{ W}$$

Con una eficiencia del motor del 80%

$$P = \frac{w}{0.8 \times 1000} = \frac{906.49}{0.8 \times 1000} = 1.13 \text{ KW}$$

- El gradiente de velocidad puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad, s⁻¹

G = Aceleración de la gravedad, m/s²

V = Volumen del tanque, m³

μ = Viscosidad dinámica del agua, kg/m.s



Necesitamos homogenizar unidades

$$P = 0.9065 \text{ KW} \left(\frac{1}{0.765} \right) = 1.22 \text{ HP} \times 75 = 91.14 \text{ kg.m/seg}$$

Sustituyendo los valores obtenemos:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

$$G = \sqrt{\frac{91.14 \text{ kg.m/s}}{(0.0008 \text{ kg/m.s})(0.798 \text{ m}^3)}} = 379.27 \text{ s}^{-1}$$

El numero de Reynolds esta dado por:

$$N_{RE} = \frac{\rho N d^2}{\mu}$$

Donde:

d = Diámetro del impulsor, m.

N = Revoluciones del impulsor, rps.

ρ = Densidad del líquido, kg/m³

μ = Viscosidad dinámica del agua, kg/m.s

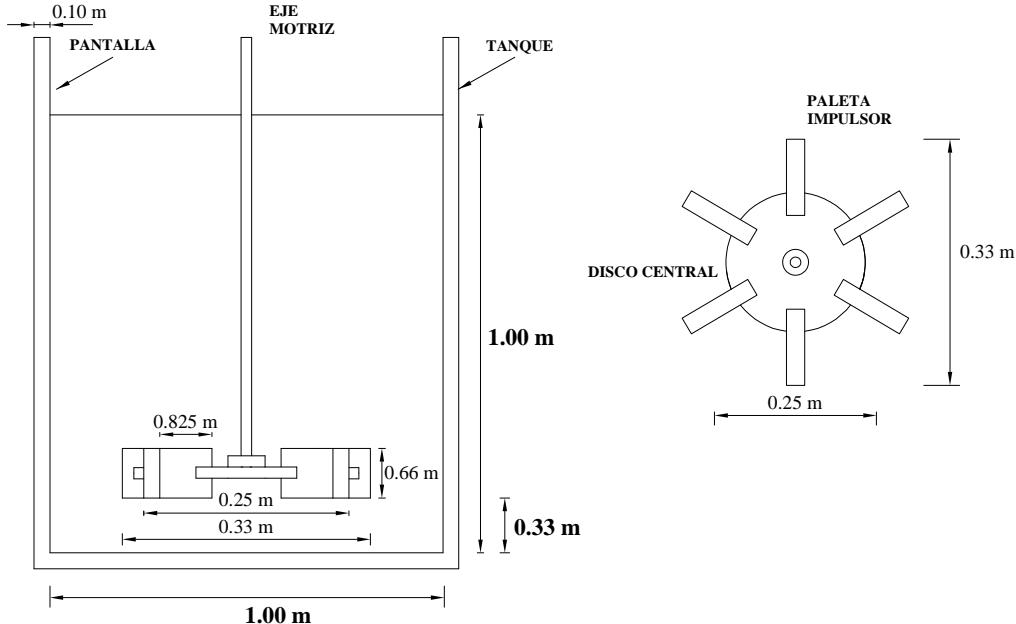
$$N_{RE} = \frac{995.68 \text{ kg/m}^3 (3.33 \text{ rps}) (0.33 \text{ m})^2}{0.0008 \text{ kg/m.s}} = 451029.768$$

Las demás dimensiones serían:

$$H = D = 1.00 \text{ m}$$

$$W = \frac{d}{s} = \frac{0.33}{5} = 0.066 \text{ m}$$

$$h = D = 0.49 \text{ m} \quad e = \frac{D}{10} = 0.100 \text{ m}$$



Notas:

$$\text{Diámetro del impulsor: } d = \frac{D}{3} = \frac{1.00}{3} = 0.33 \text{ m}$$

$$\text{Altura del impulsor sobre el fondo: } h = d : s = 0.33 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la paleta del impulsor: } w = \frac{d}{s} = \frac{0.33}{5} = 0.066 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de la paleta del impulsor: } r = \frac{d}{4} = \frac{0.33}{4} = 0.825 \text{ m}$$

$$\text{Altura del fluido } H = D \text{ por lo tanto } H = 1.00 \text{ m}$$

Número de pantallas: 4, montadas verticalmente desde el fondo hasta la superficie.

$$\text{Ancho de pantallas } e = \frac{D}{10} = \frac{1.00}{10} = 0.100 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro del disco central: } S = \frac{D}{4} = \frac{1.00}{4} = 0.25 \text{ m}$$

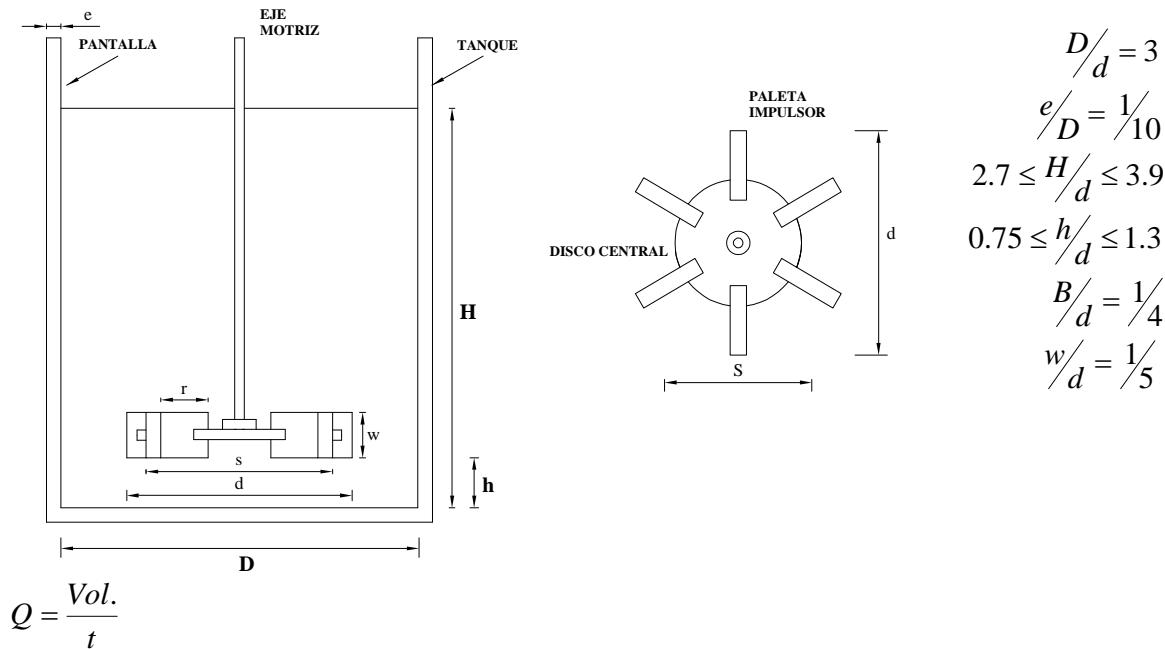
6.4.2 Diseño del agitador de mezcla lenta

Dimensionar un floculador tipo turbina de flujo axial, con seis aletas planas 45° para una cámara cilíndrica

$$K = 1.30$$

$$Q = 0.01333 \frac{m^3}{seg.}$$

$$t = 5 \text{ min.} = 300 \text{ seg.}$$



$$Vol. = Q t = 0.01333 \frac{m^3}{seg.} \times 300 \text{ seg.} = 4.00 m^3$$

$$Vol. = \frac{\pi}{4} D^2 H$$

➤ Suponiendo $D = H$

$$Vol. = \frac{\pi}{4} D^3 = 4.00 m^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{Vol.}{\frac{\pi}{4}}} = \sqrt[3]{\frac{4.00 m^3}{0.7853}}$$

$$D = 1.72 \text{ m}$$



- El diámetro de la turbina seria:

$$d = \frac{D}{3} = \frac{1.72 \text{ m}}{3} = 0.57 \text{ m}$$

De la ecuación;

$$N = \left(\frac{\mu \text{ Vol. } G^2}{K \rho d^5} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Si despejamos G nos quedaría entonces de la siguiente manera.

$$G = \sqrt[3]{\frac{N^3 K \rho d^5}{\mu \text{ Vol.}}}$$

Donde:

N = Velocidad del impulsor, r/s.

μ = Viscosidad dinámica, N.s/m².

Vol. = Volumen, m³.

ρ = Densidad, kg./m³.

d = Diámetro del impulsor, m.

Entonces:

$$G = \sqrt[3]{\frac{(0.33 \text{ rps})^3 (1.3) (995.68 \text{ kg./m}^3) (0.57 \text{ m})}{(0.0008 \text{ kg./m.s}) (4.00 \text{ m}^3)}}$$

$$G = \sqrt[3]{\frac{26.51}{3.20 \times 10^{-3}}} = 91.00 \text{ s}^{-1}$$

$$C_D = \frac{\text{Longitud de la paleta}}{\text{Ancho de la paleta}}$$

$$\frac{w}{d} = \frac{1}{5} \quad w = \text{Ancho de la paleta}$$

$$w = \frac{d}{5} = \frac{0.57}{5} = 0.114 \text{ m}$$



$$C_D = \frac{0.57}{0.114} = 5$$

De acuerdo con el valor de CD, Coeficiente de arrastre, según Rouse.

$$C_D = 1.20$$

➤ Calcular el área transversal de las paletas

$$A = \text{Area transversal de las paletas, } m^2$$

$$A = 0.114 \text{ m} * 0.57 \text{ m} * 3.00 = 0.195 \text{ m}^2$$

➤ Los valores de la velocidad de las paletas

$$V_p = \text{Velocidad de las paletas, } \text{m/s} = 0.90 \text{ m/s}$$

➤ Calcular la velocidad relativa de las paletas

$$v = 0.75V_p = 0.75(0.90 \text{ m/s}) = 0.675 \text{ m/s}$$

➤ Calculo de la potencia

$$P = \frac{C_D \rho A v^3}{2}$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre

ρ = Densidad del fluido

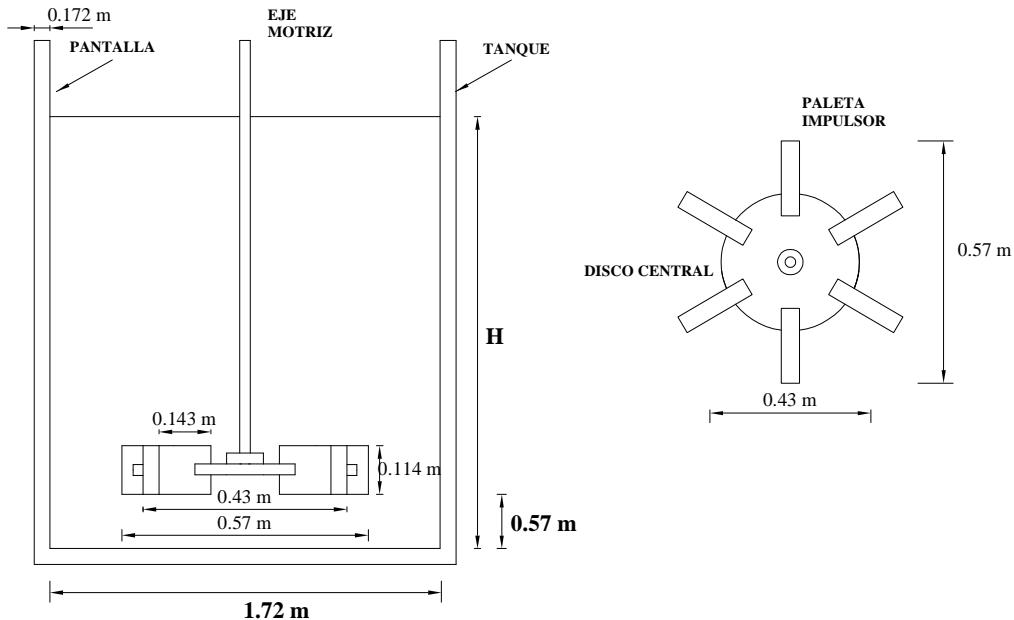
A = Área transversal

v = Velocidad relativa de las paletas

$$P = \frac{1.20 (995.68 \text{ kg/m}^3)(0.114 \text{ m}^2)(0.675 \text{ m/s})^3}{2} = 20.95 \text{ W}$$

$$G = \sqrt{\frac{C_D \rho A v^3}{2 \mu Vol.}}$$

$$G = \sqrt{\frac{1.2(995.68 \text{ kg/m}^3)(0.114 \text{ m}^2)(0.675 \text{ m/s})^3}{2(0.0008 \text{ kg/m.s})(4.00 \text{ m}^3)}} = 80.90 \text{ s}^{-1}$$



Notas:

$$\text{Diámetro del impulsor: } d = \frac{D}{3} = \frac{1.72 \text{ m}}{3} = 0.57 \text{ m}$$

$$\text{Altura del impulsor sobre el fondo: } h = d : s = 0.57 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la paleta del impulsor: } w = \frac{d}{s} = \frac{0.57}{5} = 0.114 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de la paleta del impulsor: } r = \frac{d}{4} = \frac{0.57}{4} = 0.143 \text{ m}$$

$$\text{Altura del fluido } H = D \text{ por lo tanto } H = 1.72 \text{ m}$$

Número de pantallas: 4, montadas verticalmente desde el fondo hasta la superficie.

$$\text{Ancho de pantallas } e = \frac{D}{10} = \frac{1.72}{10} = 0.172 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro del disco central: } S = \frac{D}{4} = \frac{1.72}{4} = 0.43 \text{ m}$$



6.4.3 Diseño de tanque de contacto de cloro

Desinfección con cloro líquido

Dosis de cloro = demanda de cloro + cloro residual

Cantidad de cloro/día = Q diseño x dosis cloro

Cantidad de cloro/día = $13.33 \text{ lt/seg.} \times 12 \text{ ml/lit} = 159.96 \text{ ml/seg.}$

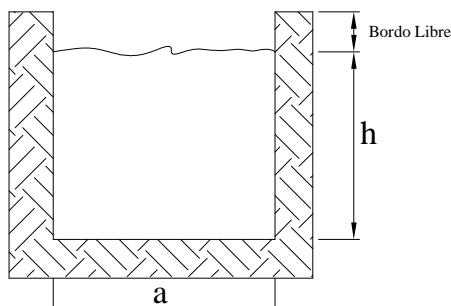
Cantidad de cloro/jornada $4.60 \text{ m}^3/\text{jornada}$

Tiempo de contacto= 25 min.

Velocidad del agua dentro del tanque= 0.80 m/seg.

$$Q = V * A$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.01333 \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}}{0.80 \frac{\text{m}}{\text{seg.}}} = 0.0167 \text{ m}^2$$



$$a * h = \frac{Q}{V} = \frac{0.01333 \frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}}{0.80 \frac{\text{m}}{\text{seg.}}} = 0.0167 \text{ m}^2$$

Si $a = h$

$$a = \sqrt{0.0167} \text{ m}^2 = 0.13 \text{ m}$$

$$V = \frac{\text{long.}}{\text{tiempo}} \quad \text{long.} = V * t$$

$$\text{long.} = 0.80 \frac{\text{m}}{\text{seg.}} (1500 \text{ seg}) = 1200 \text{ m}$$



Si seccionamos los 1200 m de longitud en 30 secciones tendríamos cada sección de 40 m de largo.

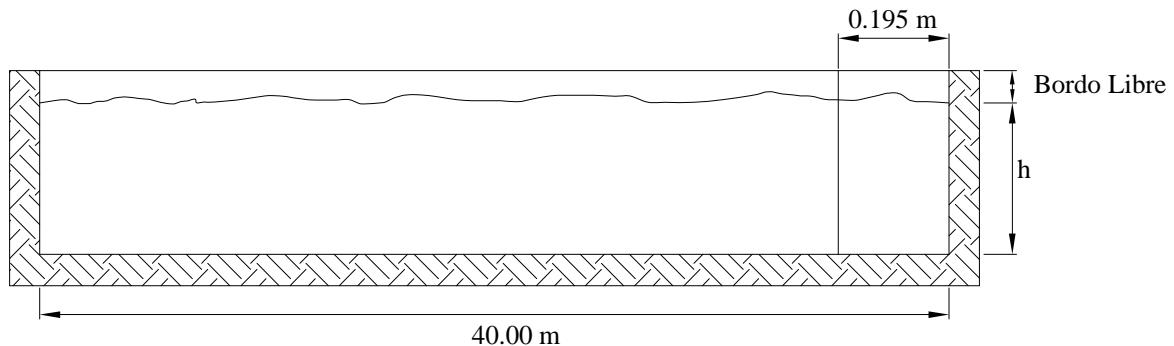
El numero de muros divisorios

$$\text{No. Paredes} = \text{No. Canales} - 1 = 30 - 1 = 29$$

El ancho seria $29 \times 0.15 \text{ m} = 4.35 \text{ m}$.

El ancho del canal por el número de secciones

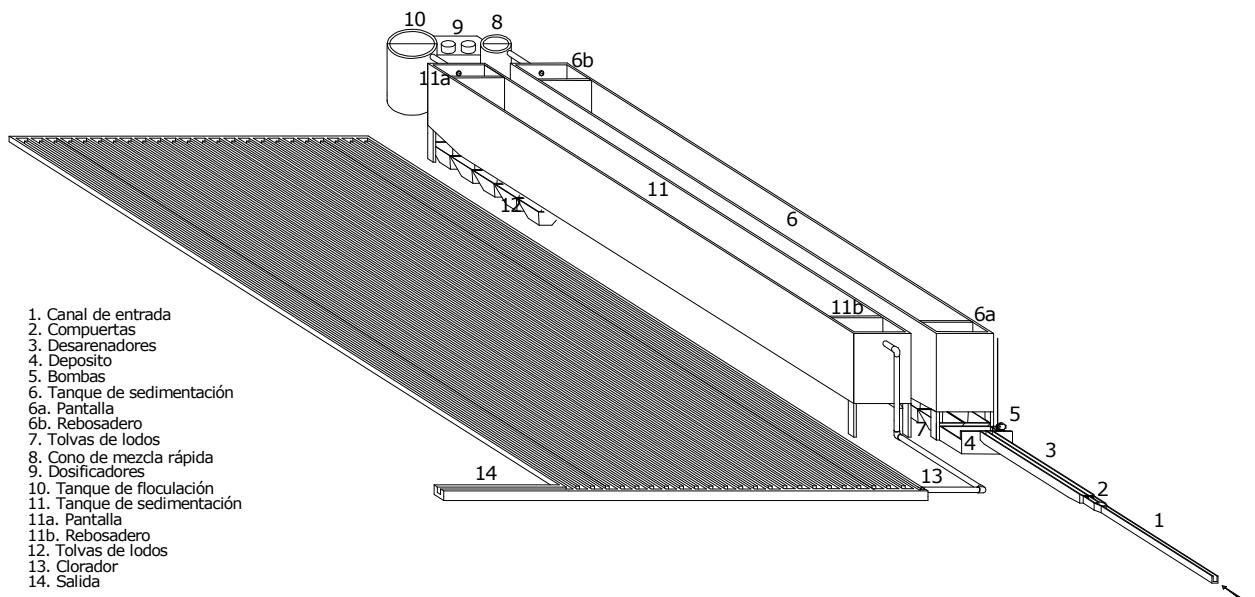
$$0.13 \text{ m} \times 30 = 3.90 \text{ m} + 4.35 \text{ m} = 8.25 \text{ m}$$



$$1.5 \times \text{ancho} = 1.5 \times 0.13 \text{ m} = 0.195 \text{ m}$$



ESQUEMA DE PLANTA DE TRATAMIENTO





CONCLUSIONES

Durante las ultimas décadas se ha perfeccionado y desarrollado el comercio en todo el país, no es la excepción para este municipio de Nextlalpan en donde la principal fuente de empleo es la manufactura de pantalón de mezclilla y el impacto de los desechos líquidos de la industria textil sobre los cuerpos receptores, y la escasez cada vez mas frecuente de agua ha sido fundamental para captar el interés y atender el tratamiento de sus efluentes, siendo un objetivo la eliminación de color, la materia orgánica y los sólidos suspendidos, entre otros, por tanto se requiere urgentemente un tratamiento que de resultados favorables al medio ambiente.

En relación a esa necesidad, realizamos un estudio que se baso principalmente en estas aguas residuales de procedencia de la industria textil a la cual le proporcionamos un tratamiento a escala que se desarrollo en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA ZACATENCO), que arrojo resultados favorables para cumplir con la norma oficial mexicana, NOM-002 (límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal) .

Gracias a las pruebas de laboratorio que aplicamos, se obtuvieron resultados que se compararon en la tabla denominada “Comparación de Parámetros”, en la cual nos indica el resultado de los parámetros que se obtuvieron después de haberle aplicado dicho tratamiento al agua

Estos valores nos guían durante todo el estudio para obtener un tren de tratamiento propuesto y lo aplicamos en el diseño de una planta de tratamiento para los procesos Azul, Blinch y Teñido Café que son muestran significativas durante toda una jornada de trabajo dentro de la empresa, posterior a esto se dimensionaron y obtuvieron las cantidades de las sustancias (cal y cloro comercial) que utilizarían en dicha planta para llevar a cabo el tratamiento completo que nos darán resultados óptimos.

Cumpliendo así con el objetivo principal del estudio necesario en esta comunidad, el dar un tratamiento eficaz y costeable para esta empresa, dejando un agua con los parámetros permisibles de color, olor, sólidos sedimentables, DQO, DBO entre otros, que nos marcan las normas oficiales mexicanas, sin olvidar el mencionar que con esto se podrá descargar directamente al sistema de drenaje sin ocasionar problemas a la infraestructura de la red sanitaria y al medio ambiente.



TABLA “COMPARACION DE PARAMETROS”

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA				
Análisis de proceso:	Azul	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR	
Parámetro Analizado	Unidades	RESULTADOS INICIALES	RESULTADOS DESPUÉS DE TRATAMIENTO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES NOM-002
Temperatura	°C	38	18	< 40
Turbiedad	U.T.J.	3200	0	
Color	U.C.			
PH		8.32	6.5	10-5.5
Acidez	mg/lt como CaCO ₃			
Alcalinidad total	mg/lt como CaCO ₃	310		
Dureza total	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de calcio	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de magnesio	mg/lt como CaCO ₃			
Cloruros	mg/lt como Cl-	499.85	75.8	
Cloro residual	mg/lt como Cl ₂			
Sulfatos	mg/lt como SO ₄			
Oxígeno disuelto	mg/lt como O ₂			
Sólidos Sedimentables	mg/lt	5.5	0	10
Demandra Bioquímica de Oxígeno	mg/lt como O ₂	10800	19	150
Demandra Química de Oxígeno	mg/lt como O ₂	8200	15	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/lt	2.31	0.22	
Analizo:				
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco				



TABLA “COMPARACION DE PARAMETROS”

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA				
Análisis de proceso:	Teñido Café	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR	
Parámetro Analizado	Unidades	RESULTADOS INICIALES	RESULTADOS DESPUÉS DE TRATAMIENTO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES NOM-002
Temperatura	°C	68	25	< 40
Turbiedad	U.T.J.	3740	0	
Color	U.C.			
PH		8.5	6.0	10-5.5
Acidez	mg/lt como CaCO ₃			
Alcalinidad total	mg/lt como CaCO ₃	242		
Dureza total	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de calcio	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de magnesio	mg/lt como CaCO ₃			
Cloruros	mg/lt como Cl-	5748.22	560	
Cloro residual	mg/lt como Cl ₂			
Sulfatos	mg/lt como SO ₄			
Oxígeno disuelto	mg/lt como O ₂			
Sólidos sedimentables	mg/lt	5.7	0	10
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/lt como O ₂	6600	85	150
Demanda Química de Oxígeno	mg/lt como O ₂	10200	72	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/lt	2.152	0.25	
Analizo:				
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco				



TABLA “COMPARACION DE PARAMETROS”

LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA				
Análisis de:	Blinch	Procedencia:	LAVANDERIA COLMAR	
Parámetro Analizado	Unidades	RESULTADOS INICIALES	RESULTADOS DESPUES DE TRATAMIENTO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES NOM-002
Temperatura	°C	73	25	< 40
Turbiedad	U.T.J.	3450	0	
Color	U.C.			
PH		7.70	6.2	10-5.5
Acidez	mg/lt como CaCO ₃			
Alcalinidad total	mg/lt como CaCO ₃	534		
Dureza total	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de calcio	mg/lt como CaCO ₃			
Dureza de magnesio	mg/lt como CaCO ₃			
Cloruros	mg/lt como Cl-	649.80	120	
Cloro residual	mg/lt como Cl ₂			
Sulfatos	mg/lt como SO ₄			
Oxígeno disuelto	mg/lt como O ₂			
Sólidos sedimentables	mg/lt	5.2	0	10
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/lt como O ₂	4800	120	150
Demanda Química de Oxígeno	mg/lt como O ₂	4000	98	
Sustancias activas al azul de metileno	mg/lt	2.38	0.18	
Analizo:				
Superviso: Ing. Esmirna Betanzo Velasco				



CANTIDAD DE CAL HIDRA REQUERIDA EN EL TRATAMIENTO.

En este cálculo se ilustra que cantidad de cal que se necesitara en la planta de tratamiento, primeramente se toma el gasto total en una jornada de 8 horas, realizando las conversiones necesarias y la cantidad de cal necesaria obtenida en laboratorio, y obtenemos la cantidad real de cal por jornada.

$$Gasto = 13.33 \frac{lts}{seg} = 1 \text{ Jornada} = 383904 \frac{lts}{jornada} = 383.904 \frac{m^3}{jornada}$$

Si tenemos $2 \frac{gr}{lt}$ de cal

$$\text{Entonces son } 383904 \frac{lts}{jornada} \times 2 \frac{gr}{lts} = 767808 \frac{gr}{jornada}$$

$$\therefore 767.808 \frac{kg}{jornada} = 38.39 \text{ sacos de cal} \cancel{/jornada}$$

$$Gasto = 13.33 \frac{lts}{seg} = \text{Proceso} = 31992 \frac{lts}{proceso}$$

Si tenemos $2 \frac{gr}{lt}$ de cal

$$\text{Entonces son } 31992 \frac{lts}{proceso} \times 2 \frac{gr}{lts} = 63984 \frac{gr}{proceso}$$

$$\therefore 63.984 \frac{kg}{proceso} = 3.199 \text{ sacos de cal} \cancel{/proceso}$$

Si el costo de saco de cal (20kg) es de \$25.00 tendremos un costo de \$959.75 durante una jornada de trabajo.



CANTIDAD DE CLORO REQUERIDO EN EL TRATAMIENTO.

En este cálculo se ilustra que cantidad de cloro se necesitará en la planta de tratamiento, primeramente se toma el gasto total en una jornada de 8 horas, realizando las conversiones necesarias y la cantidad de cloro necesaria obtenida en laboratorio, obtenemos la cantidad real de cloro por jornada.

Cantidad de cloro/seg. Q diseño \times dosis de cloro = 13.33 lts./seg. \times 12 ml./lts. = 159.96ml/seg.

Durante una jornada se aplicarían 159.96ml/seg. \times 28800 seg. = 4606848 ml/jornada = 4.60 m³/jornada

Si tenemos que el cloro industrial que está formado por ácido perclórico HClO₄ que tiene una concentración del 32%, tenemos que sacar su peso molecular para conocer su porcentaje de cloro.

P.M. HClO₄

H -----	1.00	$\frac{35.5}{100.5} \times 100 = 35.32\%$
Cl -----	35.50	
O -----	64.00	
	100.50 g	

El ácido perclórico contiene el 35.32% de cloro libre, ahora bien si se utilizan 12ml de cloro industrial con una concentración de 32 % de ácido perclórico tendríamos:

$$12 \text{ ml} ----- 100\% \\ x ----- 32 \% \\ x = 4.32 \text{ ml de ácido perclórico}$$

Entonces si el ácido perclórico tiene el 35.32% de cloro libre ocuparíamos 1.52 ml de cloro por cada 1 lt. de agua tratada.

Nota: Se especifica que solo se requerirá de cloro cuando el agua sea reutilizado por lo tanto es opcional realizar esta etapa en el tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Datos estadísticos, EMPRESA COLMAR
2. El Agua y sus Análisis, ING. LUISA SERRANO ESPINOSA
3. Potabilización del Agua, JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
4. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales
- 5.



ANEXOS

ALBUM FOTOGRÁFICO DE ALGUNAS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS



F1) Lavandería COLMAR



F2) Prueba Sólidos Suspendidos Totales



F3) Prueba Sólidos Suspendidos Totales



F4) Prueba de Jarras medición del coagulante



F5) Prueba de jarras proporciones de calhidra



F6) Prueba de jarras en muestra azul



F7) Prueba de jarras en muestra café



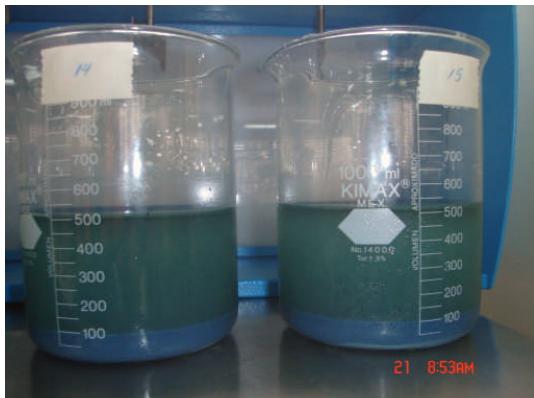
F8) Prueba de jarras



F9) Tiempo de reposo muestra café



F10) Tiempo de reposo muestras café y azul



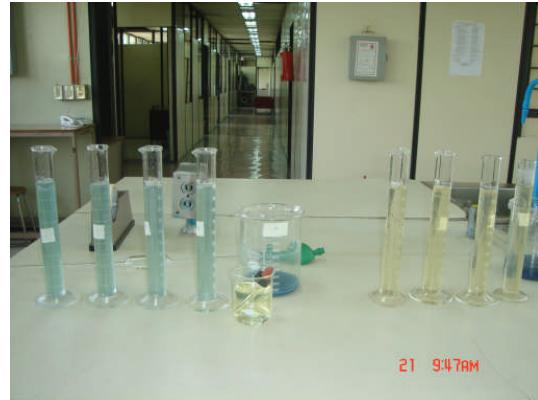
F11) Tiempo de reposo muestra azul



F12) Sedimentación muestra café



F13) Sedimentación muestra azul



F14) Prueba de cloración muestra azul y café



F15) Prueba de cloración tiempo de contacto



F16) Prueba de cloración tiempo de contacto



F17) Prueba de cloración muestra azul



F18) Prueba de cloración muestra café



APENDICES

A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A 1 ATMÓSFERA

Temperatura °C	Densidad ρ Kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad Dinámica $\mu \cdot 10^3$ Pa.s	Viscosidad Cinemática $\nu \cdot 10^6$ m ² /s
0	999.842	9.805	1.787	1.787
3.98	1000.00	9.807	1.567	1.567
5	999.967	9.807	1.519	1.519
10	999.703	9.804	1.307	1.307
12	999.500	9.802	1.235	1.236
15	999.103	9.798	1.139	1.140
17	998.778	9.795	1.081	1.082
18	998.599	9.793	1.053	1.054
19	998.408	9.791	1.027	1.029
20	998.207	9.789	1.002	1.004
21	997.996	9.787	0.998	1.000
22	997.774	9.785	0.995	0.957
23	997.542	9.783	0.932	0.934
24	997.300	9.781	0.911	0.913
25	997.048	9.778	0.890	0.893
26	996.787	9.775	0.870	0.873
27	996.516	9.773	0.851	0.854
28	996.236	9.770	0.833	0.836
29	995.948	9.767	0.815	0.818
30	995.650	9.764	0.798	0.801
35	994.035	9.749	0.719	0.723
40	992.219	9.731	0.653	0.658
45	990.216	9.711	0.596	0.602
50	988.039	9.690	0.547	0.554
60	983.202	9.642	0.466	0.474
70	977.773	9.589	0.404	0.413
80	971.801	9.530	0.355	0.365
90	965.323	9.467	0.315	0.326
100	958.366	9.399	0.282	0.294

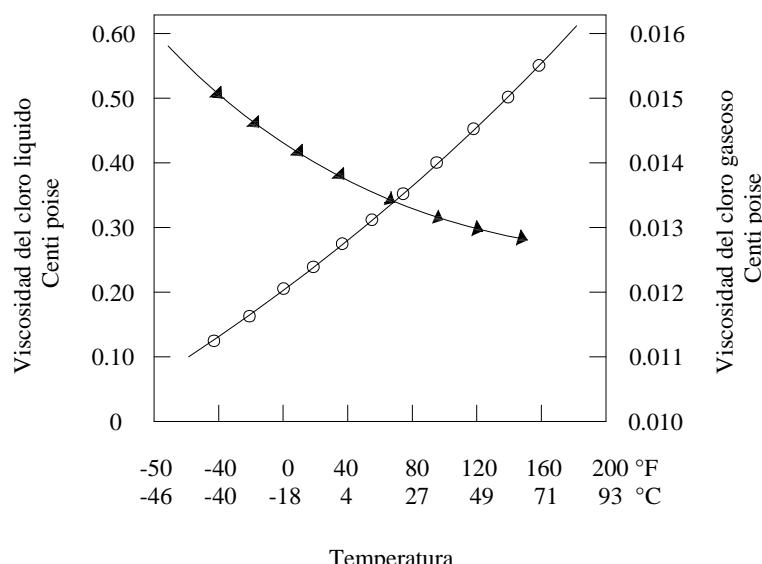


B. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Temperatura °C	Peso específico γ kN/m³	densidad ρ Kg/m³	(1) Modulo de elasticidad E/106 kN/m²	viscosidad Dinámica $\mu \times 10^3$ N.s/m²	viscosidad Cinemática $\nu \times 10^6$ m²/s	(2) Tensión superficial σ N/m	Presión de vapor p_v kN/m²
0	9.805	999.80	1.98	1.781	1.785	0.0765	0.61
5	9.804	1000.00	2.05	1.518	1.519	0.0749	0.87
10	9.804	999.70	2.1	1.307	1.306	0.0742	1.23
15	9.798	999.10	2.15	1.139	1.139	0.0735	1.70
20	9.789	998.20	2.17	1.002	1.003	0.0728	2.34
25	9.777	997.00	2.22	0.890	0.893	0.0720	3.17
30	9.764	995.70	2.25	0.798	0.800	0.0712	4.24
40	9.730	992.20	2.28	0.653	0.658	0.0696	7.38
50	9.689	988.00	2.29	0.547	0.553	0.0679	12.33
60	9.642	983.20	2.28	0.466	0.474	0.0662	19.92
70	9.589	977.80	2.25	0.404	0.413	0.0644	31.16
80	9.530	971.80	2.20	0.354	0.364	0.0626	47.34
90	9.466	965.30	2.14	0.315	0.326	0.0608	70.10
100	9.399	958.40	2.07	0.282	0.294	0.0589	101.33

- (1) A presión atmosférica
(2) En contacto con aire

C. VISCOSIDAD DEL CLORO LIQUIDO Y GASEOSO





Temperatura		Viscosidad en Centi poise	
°F	°C	Líquido	Gas
-40	-40	0.51	0.0113
-20	-29	0.47	0.0116
0	-18	0.435	0.0120
20	-7	0.405	0.0123
40	4	0.38	0.0127
60	16	0.355	0.0131
80	27	0.335	0.0135
100	38	0.32	0.0140
120	49	0.305	0.0144
140	60	----	0.0149
160	71	----	0.0154

D. VISCOSIDAD DEL CLORO LIQUIDO Y GASEOSO (45)

°C	°F	kPa	Psi
-20	-4	74	10
0	32	273	39
20	68	582	83
40	104	1.045	149
60	140	1.705	243

E. DENSIDAD DEL CLORO LÍQUIDO

°C	°F	Lb/pie³	Kg/m³
-34	-29.29	97.57	1564
-23	-10	95.77	1535
-18	0	94.80	1520
-7	20	92.85	1489
4	40	90.85	1457
16	60	88.79	1424
27	80	86.64	1389
38	100	84.24	1351
49	120	82.09	1316
60	140	79.65	1277
71	160	77.06	1235



F. PORCENTAJE DE CLORO LÍQUIDO EN EL CILINDRO CARGADO HASTA SU LÍMITE AUTORIZADO

°C	°F	%
-23	-10	81.40
-18	0	82.10
-7	20	84.40
4	40	85.80
16	60	87.70
27	80	89.90
38	100	92.30
46	120	94.80
60	140	97.70
68	153.64	100.00

G. SOLUBILIDAD DEL CLORO EN EL AGUA

°C	Mg/L
10	9980
20	7298
30	5725
40	4594
50	3923
60	3294
70	2792
80	2232
90	1271
100	0



BIBLIOGRAFIA

- CLEMENTINA R. RAMIREZ CORTINA, Tratamiento de aguas residuales industriales, México 1991
- Consulta de pagina de Internet <http://www.monografias.com/trabajos/contagua>.
- SEMARNAT, COMISION NACIONAL DEL AGUA, 1998, Dirección de Estadística e indicadores ambientales
- Estudios del uso del agua en la industria
- CONSTITUCION POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
- Consulta de pagina de Internet <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas>.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
- HERMAN E HILLEBOE, Md comisionado, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Editorial Limusa Noriega Editores.
- Gaceta ecológica Vol. 1 Num.2 Agosto 1989 SEDUE
- Manual de Aguas para Usos Industriales, American Society for Testing and Materials, Philadefia Pennsylvania, Tercera Edición, Ed. Limusa México, año 1982.
- ING. LUISA SERRANO ESPINOSA, El agua y sus análisis
- Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales
- FAIR Geyer, Purificación de Aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Ingeniería Sanitaria y De Aguas Residuales, Ed. Limusa Editores, año 1999.
- JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS, Potabilización del agua, tercera edición, Ed. Alfa Omega, 1999



- ING. LOPEZ Felipe, Diseño de Plantas Potabilizadoras, Centro de Actualización Profesional (CAPIC), Año 1984.
- COMISION NACIONAL DEL AGUA, Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada, Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, Año 2004.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, <http://www.inegi.gob.mx>
- Datos estadísticos, EMPRESA COLMAR
- LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA DE LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL