



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS
POTABILIZADORAS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

Iliana Edith Cruz Jiménez.

MÉXICO, D.F.

2007





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. LETICIA MA. DE LOS A GONZALEZ.
Vocal	Prof. RODOLFO TORREZ BARRERA
Secretario	Prof. LUIS MIGUEL RIVERA CHAVEZ
1er. Suplente	Prof. HILDA ELIZABETH CALDERON VILLAGOMEZ
2º. Suplente	Prof. ALFONSO DURAN MORENO.

Sitio en donde se desarrolló el tema:

COMISION NACIONAL DEL AGUA (CNA)

Nombre completo y firma del asesor del tema

M EN I. LUIS MIGUEL RIVERA CHAVEZ.

Nombre completo y firma del sustentante o sustentantes

ILIANA EDITH CRUZ JIMENEZ

DEDICO LA TESIS:

A MIS PADRES QUE ME APOYARON
Y ME BRINDARON
LA POSIBILIDAD DE TERMINAR
MI CARRERA,
QUE SIEMPRE HAN ESTADO CON MIGO.

TAMBIEN A MI HERMANA
QUE SIMPRE ME HA ENSEÑADO
QUE HAY QUE LUCHAR
Y NUNCA RENDIRSE ASÍ COMO A MI HERMO.

PERO SOBRE TODO A MI MAESTRO
QUE ME APOYO
PARA QUE PUDIERA TERMINAR
LA TESIS Y BRINDARME
TODOS SUS CONOCIMIENTOS.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los vitales líquidos que se encuentran en nuestro planeta, y desgraciadamente no se cuenta con los recursos y condiciones óptimos para el tratamiento de agua potable, el principal objetivo de esta tesis es que se pueda mejorar el tratamiento dentro de las plantas potabilizadoras, puesto que por el mal funcionamiento en gran parte de ellas puede provocar en el hombre enfermedades gastrointestinales ya sea a corto o a largo plazo.

Así como en su distribución de agua potable, es vulnerable a la contaminación por gérmenes patógenos. Los estudios realizados indican la presencia de organismos patógenos en tomas de las viviendas, cisternas domésticas y otras fuentes del sistema, aunque los estudios realizados no señalan el origen del problema. El sistema de distribución de agua es viejo y tiene fugas, en parte debidas a los efectos del hundimiento del suelo y mal mantenimiento de las tuberías, y a su vez está contaminado por las cañerías con filtraciones, descargas de las fosas sépticas y el desbordamiento de las líneas de drenaje.

Como en todos los países existen normas y leyes que vigilan la calidad del agua así como en su consumo y su análisis. Pero a pesar que en México existan las Normas Oficiales Mexicanas de salud (NOM) no haya un programa en el cual verifique el buen cumplimiento de ellas, principalmente la NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental "Agua para uso y consumo humano" ya que es una de las norma que hay que poner mas énfasis en ellas puesto que se estima que cerca de un millón de mexicanos están expuestos potencialmente al sustancias toxicas como el arsénico que podría envenenar el agua potable o a tros reactivos como los hidrocarburos, o simplemente su contaminación.

En cada planta potabilizadora se tienen varios procesos los cuales no son tan adecuados, pero para que pueda realizar en si el tratamiento de agua basta que se tenga medidores de flujos, proceso como la sedimentación, filtración, coagulación y floculación, absorción, y desinfección, aunque este ultimo podría abarcar con el simple

hecho de añadir hipoclorito de sodio, pero como no es en todos los pozos que se extrae el agua bastara con la simple desinfección, sino que tendrían que utilizar algún otro proceso como osmosis inversa, si el

agua contiene exceso de sales que no permitiría el consumo del agua, así como la desmineralización, con estos procesos se podrá obtener mejorías para el buen abastecimiento de la población ya que se garantiza que el agua al llegar a cada vivienda sea agua potable, aunque se tiene que realizar un muestreo por lo menos con más frecuencia para detectar fugas que puedan haber en las redes de distribución

Con ello es necesario realizar estudios de monitoreo regulares en una población para que con ello se pueda garantizar la calidad del agua, pero eso no significa que solo se tomaran muestras en la salida de las plantas potabilizadoras, en los rebombes o en los puntos donde se consideren tomar la muestra, sino como se planteo en el ultimo capitulo que se dividiera en celdas la población para que así se pueda realizar un muestreo general y otro a detalle en laboratorio, con esto se recorre toda la población garantizando que realmente se este haciendo un muestreo uniforme y con ello ahora si se tome en cuenta y se aplique la NOM-127-SSA1-1994, el éxito de este planteamiento depende de su aplicación y con ello se vara reflejados los costos que genera actualmente el análisis con la aplicación de la NOM-127-SSA1-1994, se tendrá a un futuro la reducción de los mismos.

INDICE

CAPITULO I	PAGINA
GENERALIDADES.....	1
1.1. Indicadores de la calidad del agua	3
1.1.2. Parámetros microbiológicos.....	3
1.1.3 Parámetros organolépticos.....	4
1.1.4 Parámetros físico-químicos.....	5
1.1.5. Parámetros Orgánicos.....	5
1.1.6. Radiactivo.	6
1.2. Efectos en la salud de los parámetros establecidos en la norma	7
1.2.1 Microbiológicos.	8
1.2.2. Método de Prueba.	8
1.2.3. Organolépticos.....	9
1.2.3.1. Color.	9
1.2.3.2. Olor y Sabor.	9
1.2.3.3. Turbiedad.	9
1.2.4. Método de prueba.	10
1.2.5 Físico-químicos (Metales)	11
1.2.5.1. Mercurio. (Hg.)	11
1.2.5.2. Cadmio. (Cd)	11
1.2.5.3. Plomo. (Pb)	12
1.2.5.4. Arsénico. (As)	12
1.2.5.5. Aluminio. (Al)	13
1.2.5.6. Bario. (Ba)	13
1.2.5.7. Cobre. (Cu)	13
1.2.5.8. Cromo. (Cr)	14
1.2.5.9. Hierro. (Fe)	14
1.2.5.10. Manganeso. (Mn)	15
1.2.5.11. Sodio. (Na)	15

1.2.5.12. Zinc. (Zn)	15
1.2.5.13. Dureza	15
1.2.6. Métodos de prueba.....	16
1.2.7. Orgánicos.....	18
1.2.7.1. Benceno	18
1.2.7.2. Tolueno.....	18
1.2.7.3. Xilenos.....	18
1.2.7.4. Etilbenceno.....	18
1.2.7.5. Dieldrin.....	19
1.2.7.6. Clordano.....	19
1.2.7.7. DDT.....	19
1.2.7.8. Hexaclorobenceno.....	19
1.2.7.9. Heptacloro y heptacloropóxido.....	20
1.2.7.10. Metoxicloro.....	20
1.2.7.11. 2,4-D.....	20
1.2.8. Métodos de prueba para los parámetros orgánicos.....	20
1.2.9. Iones.....	21
1.2.9.1. Cianuros. (CN ⁻).....	21
1.2.9.2. Cloruros. (Cl ⁻).....	21
1.2.9.4. Fluoruro. (F ⁻).....	22
1.2.9.5. Nitratos y Nitritos. (NO ₃ ⁻ ,NO ₂ ⁻).....	22
1.2.9.6. Sulfatos. (SO ₄ ²⁻).....	23
1.2.10. Método de Prueba para los Iones.....	24
1.2.11. Radiactivos.....	24
1.2.12 Método de Prueba.....	25
1.3 Métodos de Tratamiento.....	25
1.3.1. Medidores de flujo.	25
1.3.2. Aireación.....	25
1.3.3. Coagulación-floculación.	27
1.3.4. Tipos de coagulante.	29
1.3.5. Eliminación de hierro, manganeso y fluoruros.	30
1.3.5.1. Hierro.....	30

1.3.5.2. Manganeso.....	31
1.3.5.3. Fluoruros.....	31
1.3.7. Sedimentación.....	32
1.3.7.1. Tipos de sedimentación.	32
1.3.8. Filtración.....	33
1.3.9. Adsorción.....	34
1.3.10. Osmosis inversa.....	35
1.3.11. Control de corrosión.....	37
1.3.12. Desinfección.....	37
1.3.13. Cloro.....	38
1.3.14. Ozono.	39
1.3.15. Yodo.	41
1.3.15. Ultrafiltración.	42
1.3.16. Desmineralización.	43

CAPITULO II

MARCO NORMATIVO.....	44
2.1 NOM-012-SSA1-1993.....	45
2.2. NOM-014-SSA1-1993.....	46
2.2.1 Selección de puntos de muestreo.....	46
2.2.2. Indicaciones para el análisis bacteriológico.....	47
2.2.3 Indicaciones para el análisis físico-químico.....	49
2.3. NOM-179-SSA1-1998.....	49
2.4. Estudios realizados en algunos Estados y Ciudades de la República Mexicana.	51
2.4.1 Estudios del valle de Guadiana (Durango)	53
2.4.2 Estudios en Zacatecas y San Luis Potosí.....	54
2.4.3. Estudios en el Puerto de Sisal Yucatán.	58

CAPITULO III

ANÁLISIS DE OPERACIÓN DE AGUA POTABLE.....	65
3.1 Medidores de flujo.....	66
3.1.2 Tubo Venturímetro.....	66
3.1.3 Medidor de Orificio.	67
3.1.4. Tubo de Pitot.	68
3.1.5. Vertedores.....	69
3.1.6. Canales Parshall.....	72
3.2 Coagulación y Floculación.....	74
3.2.1. Prueba de jarras	75
3.2.2. Mezcladores Mecánicos.	78
3.2.3. Mezcladores Rápidos Hidráulicos.....	81
3.3. Sedimentación.....	82
3.3.1. Tanques.	83
3.4. Filtración.....	86
3.4.1 Tipos de lecho filtrante.....	86
3.4.2 Filtros lentos de Arena.	88
3.4.3. Filtros rápidos de Arena.	90
3.5 Adsorción.....	92
3.6 Desinfección.....	94
3.6.1 Equipo.....	94
3.6.2 Control.....	96
3.6.3 Dosificadores.....	97
3.6.4. Punto de quiebre.....	98
3.6.5. Ozonación	99
3.7 Sistemas de potabilización especiales.....	100
3.7.1 Ósmosis inversa.	100
3.7.2 Equipo.....	100

3.7.2.1 Fibra hueca.....	101
3.7.2.2 Elementos de rollo en espiral.....	101
3.7.2.3. Membranas tubulares.	103
3.7.2.4. Membranas de ósmosis inversa.....	103
3.7.2.5. Bombas.....	104
3.7.2.6. Controles.....	105
3.7.2.7. Postratamiento.....	106
3.8. Ultrafiltración.....	106
3.8.1. Membranas.	107
3.9. Desmineralización.....	110
CAPITULO IV	
MÉTODOS ANALITICOS DE LABORATORIO.....	113
4.1. Técnicas Analíticas.....	113
4.1.1. Volumétrica.....	114
4.1.2. Colorimétricas.	114
4.1.3. Espectrométricas.	114
4.1.4. Cromatografía	115
4.2. Parámetros Microbiológicos.	116
4.2.1. Método de los tubos múltiples.....	116
4.2.2. Método de filtros de membrana.....	117
4.3. Parámetros Organolépticos.....	117
4.3.1. Color.....	117
4.3.2. Olor y Sabor.....	118
4.3.3. Turbiedad.....	118
4.4. Metales.	119
4.1. Método directo de llama aire-acetileno.	119
4.5. Método Calorimétrico Para determinación de CN⁻.....	121
4.6. Surfactantes aniónicos como SSAM.....	121

4.7. Cromatografía de gases para plaguicidas.....	121
4.8. Método de Nesslerización NH ₃	122
4.9. Parámetros sólidos suspendidos totales. Técnica gravimétrica.	123
4.10. Alcalinidad.	124
 CAPITULO V	
MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE MUESTREOS.....	125
 5.1. Muestreo del agua.	125
5.2. Tamaño de muestra.....	126
5.3. Intervalo de confianza.....	131
5.4. Muestreo.....	134
 CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
 ANEXO I	138
 BIBLIOGRAFÍA.....	140

CAPITULO I

GENERALIDADES

En el planeta las tres cuartas partes de su superficie la cubren los mares y los océanos, y de las tierras emergidas una décima parte la cubren los glaciares y las nieves perpetuas. Únicamente el 0.5% de toda el agua del mundo está disponible para consumo humano y de animales.

El 67% del territorio mexicano es árido o semiárido y solamente el 33 % es húmedo o subhúmedo. La precipitación media anual es de 777 mm, de los cuales cerca del 27 % se transforma en un escurrimiento de 13,000 m³/s con una parte no recuperable de aproximadamente 3,488 m³/s¹.

El agua es vital para el ser humano y necesaria para mantener la vida en el planeta, por lo que debe contarse con un aprovisionamiento suficiente del recurso para todos los consumidores. Para contar con agua potable de calidad, ésta debe ser sometida a un tratamiento que la haga apta para el consumo humano, para posteriormente ser transportada hasta el consumidor final.

El agua potable es agua que se encuentra exenta de materia, no debe contener contaminantes, ya sean químicos o agentes infecciosos que sean perjudiciales para el hombre.

El objetivo del tratamiento del agua es producir un adecuado y continuo suministro de agua que es química, bacteriológica y estéticamente agradable, más específicamente el tratamiento del agua debe de producir agua que sea:

- Grata, esto es que no tenga un sabor desagradable.
- Saludable, no debe de tener ningún organismo patógeno o producto químico que pueda ser nocivo para la salud.
- Limpia, libre de materia suspendida y turbidez.
- Sin color ni olor.

- Razonablemente blanda, para permitir a los consumidores la higiene personal, lavar la ropa y la vajilla sin el excesivo uso de detergentes o jabones.
- No corrosiva, el agua no debe oxidar las tuberías o facilitar el lixiviado de materiales de las tuberías o depósitos.
- Bajo contenido en materia orgánica, un alto contenido en materia orgánica facilitará un indeseado crecimiento biológico en tuberías y depósitos de ¹almacenamiento que puede afectar a la calidad del agua suministrada.

El agua siendo fuente de vida también es paradójicamente un vehículo para la transmisión de gérmenes patógenos causantes de enfermedades tales como el cólera, tifoidea, parásitos intestinales etc., por lo cual se implementó la Norma Oficial Mexicana “*NOM-127-SSA1-1994*”, *salud ambiental, agua para uso y consumo humano*, que es el fundamento legal que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y así poder suministrar de manera eficaz el abastecimiento de agua potable, ya que los consumidores esperan tener en su grifo agua limpia y saludable las 24 hrs. del día.

Los problemas para que la población cuente con agua potable no solo, se origina en la calidad del agua de la fuente original, sino también durante el tratamiento, la distribución y en el hogar del consumidor por ello para poder implementar un sistema de calidad eficiente, se requiere en primera instancia de un sistema de monitoreo sobre los cuerpos empleados para el abastecimiento, un análisis detallado de todos los parámetros establecidos en normas aunque no siempre se cumplan. A pesar de que en nuestro país se realizan monitoreos regulares sobre los efluentes de las plantas potabilizadoras más importantes, quienes realizan estos monitoreos son los organismos que suministran el servicio de agua potable que pueden ser: municipales, estatales ó concesionados.

Este fenómeno se presenta por el escaso presupuesto con que se cuenta y el alto costo de los estudios que se practican. Parte de las propuestas hechas por los especialistas en el ramo, es el de ponderar las necesidades reales a corto plazo del sistema de calidad, y efectuar los monitoreos sobre los parámetros más elementales como son los coliformes

¹Comisión Nacional del Agua.

fecales, cólera, nitratos y fosfatos. Esto permitiría abatir costos y tener conocimiento sobre las dosis óptimas de cloro vertido en los efluentes. Y así tener la certeza de que el agua que se abastece es realmente potable.

1.1. Indicadores de la calidad del agua

Debido a la cantidad de parámetros que participan en el diagnóstico de la calidad del agua y a lo complejo que éste puede llegar a ser, se han establecido índices para sintetizar la información proporcionada por estos parámetros. Los índices que tienen un valor permitido por la "*NOM-127-SSA1-1994*", sirven para poder comparar la calidad de agua en diferentes lugares.

Los parámetros establecidos por la norma pueden agruparse en:

- Microbiológicas.
- Organolépticas.
- Físico-químicas
- Orgánicos (plaguicidas, pesticidas e hidrocarburos orgánicos volátiles y semivolátiles).
- Radiactivos.

1.1.2. Parámetros microbiológicos

El exceder los límites permisibles de cada parámetro puede tener repercusiones en la salud del hombre.

Los análisis microbiológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias, helmitos, protozoarios y virus que alteran y modifican la calidad del agua para su determinado uso.

Los "caracteres microbiológicos", se centran en valorar sólo algunos agentes microbianos denominados "indicadores de contaminación fecal", ya que su presencia revela contaminación de heces fecales y por lo tanto la existencia de patógenos que viven en el intestino de animales de sangre caliente, y en caso positivo, sirvan como elementos para hacer inaceptable el agua

para uso y consumo humano. Esto significa que habrá que practicar varias técnicas para su eliminación. Por lo que cualquier agente microbiano de transmisión fecal, puede llegar al organismo alojándose principalmente en los intestinos del consumidor y provocar enfermedades diversas como cólera, salmonella, entre otras. Siendo ello exponente de un claro problema que representa por no eliminar los contaminantes microbianos.

1.1.3 Parámetros organolépticos.

Las características organolépticas nos sirven para darnos una indicación rápida de la calidad de agua y la eficiencia de los tratamientos en las plantas. Los cuales son:

- Color.
- Olor.
- Sabor.
- Turbidez.
- Temperatura.

El color puede deberse a muy diversas sustancias, generalmente de la descomposición de materia vegetal aunque a veces también proviene de las sales metálicas como el Fe, Cu, Mn, pero los efectos sensoriales pueden considerarse efectos sobre la salud. Un aspecto importante de estas características es que puede inferir en el análisis químico de ciertos constituyentes del agua.

El olor se debe fundamentalmente a la presencia de sustancias orgánicas, así como el desarrollo de microorganismos. Su presencia en el agua, indica de forma casi segura, algún tipo de contaminación o alguna deficiencia durante el tratamiento o distribución. El sabor puede detectar mejor la presencia de sustancias inorgánicas, aunque el agua libre de sabor no garantiza que este libre de microorganismos patógenos o de ciertos compuestos tóxicos.

La turbiedad se debe a la materia orgánica en suspensión: arcilla, barro, materia orgánica, organismos microscópicos etc., sanitariamente es inocua si es debida a arcilla u otras sustancias minerales, pero es peligroso si la turbiedad proviene de aguas calcáreas o de residuos industriales.

La temperatura debe tener un valor que permita su consumo sin dañar las mucosas internas del tracto digestivo. En general estos parámetros no provocan algún efecto serio en la salud del ser humano, si por alguna razón lo fuese, ocasionaría náuseas, dolor estomacal, diarrea y dolores de cabeza asociadas.

1.1.4 Parámetros físico-químicos.

Con lo que respecta al análisis de los parámetros físico-químicos, éstos tienen como fin, averiguar la composición mineral del agua y los indicios sobre la contaminación por el contenido de sustancias incompatibles con su origen geológico. Lo que químicamente se determina es el contenido de sólidos totales, presencia de cloruros, cantidad de oxígeno disuelto presente, contenido de nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos, dureza, alcalinidad, metales pesados, si hay en exceso algunas de estas características en el agua potable puede causar varias enfermedades para el hombre.

Los metales a una exposición a corto plazo produce molestias gastrointestinales, dermatitis alérgicas, lesiones renales, por ejemplo el cadmio de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones, el plomo dificulta el desarrollo intelectual de los niños, entre otras enfermedades.

La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).

Los fluoruros dañan el sistema óseo (dolor y fragilidad ósea). Los niños podrían sufrir de dientes manchados.

1.1.5. Parámetros Orgánicos.

Los plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos de origen sintético se caracteriza por poseer uno o varios átomos de cloro en su estructura química, son compuestos muy pocos solubles en agua y poco volátiles, y persistentes ya que se les puede encontrar hasta 52 semanas después del momento de su aplicación, se integran fácilmente a la cadena alimenticia,

se absorben por la piel, el tubo digestivo o el aparato respiratorio, también se acumula en el tejido graso y se elimina mediante el riñón, la intoxicación aguda se caracteriza por náuseas, vómito, dolor gástrico y manifestaciones neurológicas que incluyen dolor de cabeza, temblor y mareos, así como puede causar trastornos hepáticos, y tienen alto riesgo de provocar cáncer.

Los hidrocarburos pueden ocasionar enfermedades como la anemia, trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso, el benceno, puede provocar cáncer.

1.1.6. Radiactivo.

El avance de la ciencia y de la técnica, ha impuesto el uso de elementos radiactivos que por lo mismo desechan las llamadas basuras radiactivas, como consecuencia de actividades de investigaciones científicas en unos casos y como residuos de procesos industriales.

Este análisis determina la radiactividad global alfa y beta en el agua, los límites de detección dependen de los radionúclidos presentes, los sólidos disueltos en la muestra.

Se ha obtenido nueva información sobre la consecuencia que la exposición a las radiaciones tiene para la salud, se han reexaminado las estimaciones de los riesgos.

La ingesta del agua contaminada por elementos radiactivos, presenta graves peligros debido al hecho de que estos elementos se fijan preferentemente sobre ciertos órganos y sus radiaciones provocan lesiones que serán importantes.

El agua conduce a enfermedades no solo al ser bebida, sino también al ser empleada para otros fines, entre éstos, la preparación de alimentos.

Para que el agua sea ingerida por el hombre de manera que beneficie su salud, es necesario que tenga en solución ciertas sustancias que la hagan agradable y nutritiva, como la presencia del oxígeno, sales minerales de potasio, sodio, calcio y magnesio en cantidades pequeñas, pues el exceso hace impropia el agua para el consumo, debe de estar exenta de materias perjudiciales a

la salud, libre de colores, olores y gérmenes infecciosos, debe de tener un sabor y una apariencia agradables.

El agua destilada no es químicamente potable, si no por el contrario, es perjudicial ya que con la evaporación y condensación ha perdido sus sales y gases disueltos. Se le obtiene por destilación del agua ordinaria en alambiques o en dispositivos adecuados. Esta agua se emplea en el laboratorio o en la industria siempre con fines científicos ó de proceso.

El estudio del agua se hace siempre sobre el agua destilada la cual, por tener una composición constante, presenta propiedades características que se han tomado como tipos para establecer algunas relaciones entre sólidos y líquidos en general.

Si se llegara a consumir, podría causar deshidratación ya que sería un impacto severo para el cuerpo, puede estimular la sed, provocar dolores de cabeza, irritabilidad, cansancio, y pérdida del conocimiento. La deshidratación severa puede llevar al colapso cardiovascular y hasta la muerte si no se trata rápidamente. Aunque el agua en algunos casos es recomendada para las personas con dietas restringidas en minerales y sodio.

1.2. Efectos en la salud de los parámetros establecidos en la norma

Puesto que el organismo humano necesita la presencia de cantidades discretas y variables de determinados elementos de naturaleza metálica, para lograr el crecimiento normal y efectuar correctamente sus funciones fisiológicas. Por ello, en contra de la consideración de la toxicidad de los metales en sí, algunos de ellos son elementos indispensables para la vida.

El principal aporte de estos elementos se realiza a través de la ingesta de alimentos y del agua potable. Existe una cantidad mínima y otra máxima entre las cuales el desarrollo del organismo es adecuado. Fuera de estos márgenes aparecen manifestaciones patológicas, como las enfermedades de deficiencia y las intoxicaciones respectivamente, esto depende de la susceptibilidad de cada organismo, ya que cada sistema es muy diferente.

A continuación se hará un análisis de los parámetros agrupados considerados en la “NOM-127-SSA1-1994”. Con respecto a la salud del ser humano.

1.2.1 Microbiológicos.

Organismos coliformes totales y E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes.

El análisis para la evaluación biológica del agua consiste, generalmente en la determinación de indicadores bacteriológicos y no de organismos patógenos como tales. El indicador de calidad microbiológica son las bacterias del grupo de las coliformes fecales, especialmente Escheruchia coli.

Son microorganismos indicadores porque su presencia revela la contaminación de heces fecales y por lo tanto la existencia de patógenos que viven en el intestino de animales de sangre caliente. Fueron seleccionados debido a que su manipulación es menos peligrosa para el analista, además de la poca factibilidad de utilizar directamente los patógenos por la dificultad de su manejo, tiempo de incubación y costo de análisis. Así su presencia sugiere la existencia de otras bacterias, virus o protozoarios dañinos para el hombre.

1.2.2. Método de Prueba.

La técnica que se utiliza es la **Fermentación en Tubos Múltiples**.

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido de 24 a 48 hr y de 35 - 37 °C². El procedimiento consiste en determinar los coliformes mediante la siembra de distintos volúmenes del agua en serie de tubos conteniendo medios de cultivo líquido lactosado y posterior resiembra en medios de cultivo selectivo con incubación a temperaturas adecuadas.

² Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. APHA, AWWA, WPCF., 1992.

Los resultados del estudio de los tubos y diluciones replicados, se comunican en términos del Número Más Probable (NMP) de microorganismos existentes. Este número basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad medida de coliformes en la muestra. La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Se obtiene una información satisfactoria cuando el mayor inocuo muestra gas en alguno o todos los tubos y el grupo más pequeño muestra gas en la mayoría de los tubos o en ninguna.

1.2.3. Organolépticos

Las características organolépticas no tienen una consecuencia directa sobre la salud humana, pero no obstante pueden provocar reacciones negativas por los consumidores por diversas razones.

1.2.3.1. Color.

El color se debe por lo general a la presencia de materia orgánica, los consumidores rechazan el agua cuando esta muy coloreada, arriba de 15 UCV por razones de estéticas, menor de esta unidad es aceptada.

1.2.3.2. Olor y Sabor.

Son debidos a las impurezas disueltas, frecuentemente en la naturaleza orgánica, y son difíciles de medir, proporciona información sobre el estado del agua y puede provocar rechazo por parte del consumidor, solo tiene que ser agradable para la población.

1.2.3.3. Turbiedad.

La causa de la turbiedad del agua de bebida es la presencia de partículas. Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. Generalmente la apariencia del agua con una turbiedad inferior a

unidades nefelométricas es aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar según las localidades.

1.2.4. Método de prueba.

El color se determina mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. La comparación también puede utilizarse con discos especiales de cristal de color, adecuadamente calibrados. El método patrón medida de color es el de cobalto-platino, siendo la unidad de color producido por 1 mg de platino/L en forma de ion cloroplatinato.

Para determinar la turbidez por el método de nefelométricos. Este método se basa en la composición de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea el polímero formalina. El turbidímetro consiste en un nefelómetro en una fuente de la luz para iluminar la muestra, y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente. La sensibilidad del instrumento debiera permitir la detección de diferencia de turbidez de 0.02 UNT (unidades nefelométrico de turbidez).

El olor se reconoce como un factor de calidad que afecta a la aceptabilidad del agua potable, no existe una concentración absoluta de olor umbral debido a la variación inerte a la capacidad olfatoria individual, el sabor abarca un complejo de sensaciones olfativas, gustativas y táctiles originados por el estímulo de terminaciones nerviosas situadas en la lengua. Así que no se tiene algún instrumento que puede medir estos dos parámetros.

1.2.5 Físico-químicos (Metales)

1.2.5.1. Mercurio. (Hg.)

El mercurio en compuestos inorgánicos, tal y como llega a las aguas carece de toxicidad; sin embargo, es en este medio acuático donde el mercurio inorgánico es transformado a través de determinadas bacterias en metilmercurio. La ingestión para el hombre, está alrededor de 2 a 20 $\mu\text{g}/\text{día}^*$, los principales efectos tóxicos se producen sobre el sistema nervioso, especialmente en el sistema nervioso central si llega a consumir 0.25 $\text{mg}/\text{día}^3$, a dosis mayor de 0.5 mg/l^3 provoca vómito, diarrea ocasionada por la irritación, si la ingestión es superior de 6 gm/L^3 será de gravedad para el ser humano. Tiene un efecto biacomulable, pues una vez absorbido por el organismo es distribuido uniformemente, localizándose la mayor parte en el cerebro, huesos, hígado y riñón. El hombre es capaz de eliminar el mercurio por diferentes vías, por la saliva, orina, bilis y a través de la mucosa del colon. Hay que destacar la especial sensibilidad que presentan los niños y las mujeres embarazadas, por los mismos efectos cuando sufren una dosis cinco veces menor.

1.2.5.2. Cadmio. (Cd)

La toxicidad del cadmio se deriva de la capacidad que tiene para unirse a ciertas especies reactivas o agentes complejantes, dando lugar a la inhibición enzimática, provocando disfunciones en el crecimiento y metabolismo tisular. La ingestión diaria se estima alrededor de 10 a 40 μl^3 y es peligroso para el ser humano a partir de 1 mg/l^3 . El cadmio tiene un efecto biacumulable en el organismo principalmente un 50% en el hígado y los riñones teniendo una vida biológica de 10 a 35 años³, la parte no absorbida es excretada a través de la orina. Las principales afecciones producidas por intoxicación aguda de este elemento son daño alveolar, gástrico y alteraciones reproductivas. Como consecuencia de exposición crónica puede provocar enfisema pulmonar, anemia, alteración del sistema nervioso central y alteraciones del metabolismo mineral (osteoporosis).

1.2.5.3. Plomo. (Pb)

El plomo es un metal pesado que, hasta donde se sabe, no cumple ninguna función fisiológica normal en el hombre. La intoxicación por este elemento es tan frecuente que desde épocas remotas se han documentado manifestaciones clínicas de envenenamiento o saturnismo. La ingestión es de 25 $\mu\text{g}/\text{Kg}^3$. peso, se puede ingerir durante varias semanas agua que contenga de 2 a 4 mg/L^3 de plomo sin presentar ningún síntoma, pero su empleo durante tres meses sería dañino, el consumo de 15 mg/L^3 de plomo durante varias semanas puede ser fatal, concentraciones de 0.05 mg/L^3 se considera fisiológicamente segura para el ser humano. Cuando la cantidad de Pb ingerida es superior a la que se elimina, el Pb también es bioacumulable y se deposita en distintos órganos, especialmente en huesos, hígado, riñón, cerebro y en el esqueleto. Las consecuencias clínicas más importantes son las alteraciones relacionadas con el aprendizaje, la atención y el crecimiento si las dosis no son elevadas,* pudiendo llevar un aumento de la dosis hasta el coma y la muerte, o dejar hiperactividad como secuela. La evidencia de carcinogenicidad humana se considera inadecuada.

1.2.5.4. Arsénico. (As)

A pesar de que el arsénico fue el primer metal considerado carcinogénico, la evidencia epidemiológica de su carcinogenicidad ha sido confirmada recientemente en animales de experimentación. De estos resultados se deduce la aparición de tumores pulmonares originados por distintos compuestos inorgánicos del arsénico. Los compuestos de arsénico son absorbidos por el organismo por inhalación (25-40%), ingestión (95%), o a través de la piel (especialmente los compuestos órgano-arsenicales). Es acumulativo para el organismo, la ingestión diaria es de 0.15 a 0.30 mg/L^3 , pero si llega a la ingestión de dosis grandes de 70 a 180 mg^3 puede resultar fatal, los síntomas de enfermedad aguda que posiblemente conduce a la muerte, consta de fiebre, anorexia, hepatomegalia (aumento del volumen del hígado), melanosis, arritmia cardíaca, daño en la mucosas, como irritación, formación de vesículas e incluso desprendimiento. La pérdida de la sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente.

³Manual de Toxicología. Curtis d. Klaassen , Ph. D.

1.2.5.5. Aluminio. (Al)

En los estudios realizados en el laboratorio sobre el Aluminio, se ha encontrado que la ingestión diaria de aluminio en la población general varía de de 9 a 36 mg/día³ con un promedio alrededor de 20 mg/día³. Sin embargo la presencia de aluminio en concentraciones superiores a 0.2 mg/L³ en el agua provoca la aparición de depósitos de una masa de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y acentúa la coloración. Así como deprimen la absorción de fósforo por precipitación en el tubo digestivo.

1.2.5.6. Bario. (Ba)

La dosis letal soluble del Bario, es de 1 g³ para un adulto, al ingerir se origina rigidez muscular del cuello y cara, fibrilación y temblor. Aparece en seguida debilidad muscular, dificultad respiratoria, arritmia cardiaca y muerte por parálisis cardiorrespiratorias. A concentraciones 10mg/L no aparecen efectos cardiovasculares, no obstante en ratas expuestas a concentraciones relativamente bajas en agua bebida, se observó un aumento de la presión sanguínea, si se suministra 7 a 1 mg/L no se encuentran ningún efecto dañino.

1.2.5.7. Cobre. (Cu)

La ingestión diaria del cobre para el hombre es de no menos de 50³ microgramos de cobre por Kg. de peso, aproximadamente 3.5 mg al día. El cobre existente en forma natural en el agua potable no ofrece riesgo para el ser humano, incluso en los casos anormales donde se encuentra a niveles suficientemente altos como para proporcionar un sabor metálico al agua, admite hasta 1.5 mg/L³, tiene un sabor desagradable, así como colorea o tiñe la ropa a partir de 1 a 5 mg/L³ El contenido de cobre en el agua potable en una tubería de cobre es prácticamente estable y no sobrepasa los 0.125 mg/L³.

Ni en condiciones especiales desfavorables, como aguas con mucho anhídrido carbónico o tratada con cloro libre, no se sobrepasa nunca un contenido de cobre de 0.5 a 3.3 mg/L³. La cantidad de cobre que podemos ingerir con el agua transportada por una tubería de cobre es de

la décima a la centésima parte de la alimentación diaria. Por lo tanto, ni en casos más extremos, el cobre ingerido por medio del agua puede resultar nocivo para la salud humana. Para algunas personas, cuando la concentración en el agua para beber es superior a 3 mg/L, aparece una irritación gástrica aguda, la ingestión prolongada puede provocar cirrosis hepática.

1.2.5.8. Cromo. (Cr)

La exposición sanguínea de cromo es de 20 a 30 $\mu\text{g/L}^3$, la dosis tóxica es de unos 6g, su ingestión determina un cuadro agudo gastrointestinal, hemorragia, diarrea abundante. Las concentraciones son habitualmente inferiores a 2 $\mu\text{g/L}^3$ se han encontrado concentraciones de 120 $\mu\text{g/L}$ y no se muestra perturbaciones en el organismo. El cromo trivalente rara vez se presenta en agua potable, desafortunadamente en el agua clorada o aireada es el cromo VI la forma predominante. La absorción de cromo tras la exposición por vía oral es relativamente baja y depende del estado de oxidación. El cromo (VI) se absorbe más fácilmente a través del tracto gastrointestinal que el cromo (III) y puede atravesar las membranas celulares. En un principio, se consideró que debían determinarse valores guías distintos para el cromo (III) y el cromo (VI). Sin embargo los actuales métodos de análisis favorecen el establecimiento de un sólo valor guía "cromo total"

1.2.5.9. Hierro. (Fe)

El contenido total de hierro de un individuo es de alrededor de 4.5 g. En concentraciones superiores de 0.3 mg/L³ imparte un color amarillento en el agua, manchando la ropa lavada, a partir de 1 mg/L³ genera un sabor amargo y astringente, cuando la concentración es inferior, el sabor no suele ser perceptible. Al ingerir mayor de 20 a 40 g³ este puede provocar vómitos debido a la ulceración del tubo gástrico y las heces llegan a ser de color negro.

1.2.5.10. Manganeso. (Mn)

La ingestión diaria de manganeso varía de 2 a 9 mg³ aunque el agua presenta mayor a 0.1mg/L³ mancha la ropa lavada y da a la bebida un sabor desagradable a concentraciones más altas el manganeso puede producir un trastorno neuropsiquiátrico característico por irritabilidad. La intoxicación es de 80 miligramos por 100, en la sangre. Adecuado la cantidad de 2-5 mg³ al día; incluso 10 mg³ pueden considerarse inocuos.

1.2.5.11. Sodio. (Na)

La cantidad total de sodio en un hombre de 70 Kg es de 65 g³, es muy raro encontrar casos de intoxicaciones El organismo humano adulto contiene alrededor de 100 gramos de sodio, el 70% de éstos se localizan en los fluidos extracelulares y 30% distribuido entre el esqueleto y otros tejidos. Aunque se sabe que más de 200 mg/L³ el consumidor no acepta el agua pues le imparte un sabor salado.

1.2.5.12. Zinc. (Zn)

Nuestro cuerpo contiene entre 2 y 3 gr³ de zinc. No se puede hablar de un lugar concreto en donde el cuerpo almacene el zinc y es por ello que ha de asegurarse un aprovisionamiento regular de éste, 60% en el músculo, 30% en los huesos y alrededor del 5% en la piel. En la glándula de la próstata y en el semen se encuentra cantidades especialmente elevadas. Los síntomas de una sobredosis de zinc tras ingerir 2 g³ o más incluyen náusea, vómitos y fiebre. En concentraciones superiores en el agua de 3 mg/L³ puede no ser aceptada por los consumidores, pues un valor de 5 mg/L³ le da un sabor astringente, apariencia colorida y produce una película grasosa cuando hierve.

1.2.5.13. Dureza

La recomendación de calcio es de 0.8 g³ en adultos, 1g³ por día para los niños, adolescentes 1.1 y 1.4 g³. El umbral del sabor del ion calcio es del orden de 100 a 300 mg/L³ y el umbral del sabor del magnesio es inferior al del calcio. El agua de dureza superior a los 200 mg/L³ puede causar la

aparición de incrustaciones en el sistema de distribución, dando lugar al consumo excesivo de jabón y a la consiguiente formación de espuma. Por otra parte el agua blanda cuya dureza es inferior a 100 mg/L³, puede tener una capacidad amortiguante reducida y resulta, por lo tanto más corrosiva para las tuberías. Concentraciones de 2 a 3 g/L³ de carbonatos disueltos no son nocivas para el organismo animal.

1.2.6. Métodos de prueba

Espectrometría de absorción atómica de llama.

La espectrometría de absorción atómica se parece a la fonometría de llama de emisión, en que la muestra es aspirada en una llama y atomizada. La principal diferencia consiste en fotometría de llama, que se mide la cantidad de luz emitida, mientras que en la espectrometría de absorción atómica se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Para determinados metales, la absorción atómica presenta una sensibilidad superior a la emisión de llama. Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento, esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación. La cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra, en un intervalo de concentraciones limitado. La mayor parte de los instrumentos de absorción atómica están equipados para funcionar también en la forma de emisión.

La sensibilidad de la espectrofotometría de absorción atómica de llama se define como la concentración de metal que proporciona y produce una absorción de 1 por 100 (una absorbancia de aproximadamente 0,0044³). El espectro de absorción atómica consiste en una fuente luminosa que emite el espectro de líneas de un elemento (lámpara de cátodo hueco o lámpara de descargar sin electrodos), un dispositivo para vaporizar la muestra (normalmente una llama), medio de aislamiento de la línea de absorción (monocromador o filtro y rejilla ajustable) y un detector fotoeléctrico con su equipo electrónico de amplificación y medida asociado.

En la siguiente tabla se muestra algunos procesos para la eliminación de algunos metales.

ELIMINACION DE METALES TÓXICOS PRIORITARIOS			
COMPUESTO	PROCESO	EFICIENCIA	COMENTARIO
Cadmio	Precipitación con cal con pH entre 9.5 a 12.5. Precipitación y filtración. Precipitación y carbón activado. Osmosis inversa, electrodiálisis y congelación	Niveles hasta 0.0075 mg/L 0.0007 0.0001	Interferencia con cianuros Sólo en agua limpia
Cobre	Precipitación Intercambio iónico Evaporación y electrodiálisis	*	Para influentes con 1 a 1000 mg/L y sin CN y amoníaco Influente < 200 mg/L Más de 10 000 mg/L y si se desea recuperar
Cromo hexavalente	Reducción (con dióxido de azufre, bisulfito de sodio o sulfato ferroso) y precipitación con Sosa o cal con pH entre 8.5 y 9.5 Intercambio iónico	*	*
Mercurio	Precipitación con sulfuros Coagulación con sulfato de aluminio, sales de hierro y cal Intercambio iónico Carbón activado	99.90% Niveles de 0.5 a 1.8 mg/L 85 a 99 %	Para mercurio orgánico e inorgánico Mercurio inorgánica Mercurio inorgánica
Níquel	Precipitación con cal con pH de 9.5 con filtración intercambio iónico	Niveles de 0.5 mg/L 90%	Costeable para recuperación
Plomo	Precipitación con cal, hidróxidos y sosa seguido de filtración Destrucción con cloro, precipitación y filtración	99% 90%	Plomo inorgánico Plomo orgánico
Zinc	Precipitación con cal con pH de 10 Intercambio iónico y evaporación	Niveles < a 1 mg/L	interferencia de cianuros Recuperación

*No se cuenta con información bibliográfica.

1.2.7. Orgánicos

1.2.7.1. Benceno

Al realizar un estudio con animales las estimaciones basadas en la aparición de leucemia y linfomas en ratones hembras y de carcinomas de las células escamosas de la cavidad oral en ratas machos, las concentraciones en agua de bebida que corresponden a un riesgo adicional de cáncer durante toda la vida oscila entre 10 a 80 $\mu\text{g/L}^3$. Así que la concentración del benceno puede ser inferior a 5 $\mu\text{g/L}^3$, a concentraciones elevadas afecta al sistema hematopoyetico y produce cáncer.

1.2.7.2. Tolueno

El tolueno tiene un olor fragante y acre, similar al del benceno, el umbral de sabor de esta sustancia oscila entre 40 y 120 $\mu\text{g/L}^3$ y el umbral del olor en el agua está 24 y 170 $\mu\text{g/L}^3$, por lo tanto el tolueno puede influir en la aceptación del agua cuando se encuentre en concentraciones inferiores a su valor.

1.2.7.3. Xilenos

Las concentraciones de xilenos del orden de 300 a 1000 $\mu\text{g/L}$ dan al agua un sabor y un olor perceptibles. El umbral oscila entre 20 y 1800 $\mu\text{g/L}$

1.2.7.4. Etilbenceno

El etilbenceno tiene un olor aromático. Según los informes, su umbral de olor en el agua oscila entre 2 y 130 $\mu\text{g/L}$, el umbral de sabor varía de 72 a 200 $\mu\text{g/L}^3$

1.2.7.5. Dieldrin

El dieldrin afecta el sistema nervioso central, su teratogenicidad y mutagenicidad no han sido demostrados y al parecer no son carcinógenos. La aldrina y la dieldrina son muy tóxicas para los animales de experimentación y han ocurrido casos de envenenamiento de seres humanos. Los órganos más afectados son el sistema nervioso central y el hígado.

1.2.7.6. Clordano.

La concentración de Clordano ha sido disminuida, la sustancia es muy persistente y muestra gran potencial de bioacumulación, es tóxico y existen indicios de que es mutagénico. Se llegó a la conclusión de que su carcinogenicidad no está suficientemente demostrada en los seres humanos, pero sí en los animales.

1.2.7.7. DDT

La dosis mortal se estima por encima de 150 mg/Kg⁵. Se calcula que las personas ingieren por día un término medio de 0.0026 mg/Kg⁴. Cantidad inferior a la mínima para originar los síntomas siguientes: tos, edema de pulmón, dermatitis o cólicos y diarrea. En dosis muy elevadas afecta al sistema nervioso central y periférico así como el hígado, es tóxico para mamíferos, muy persistente, se acumula en la cadena alimenticia y es carcinógeno.

1.2.7.8. Hexaclorobenceno.

En el Hexaclorobenceno se ha observado la irritación del sistema nervioso central así como efectos tóxicos secundarios (náuseas, vómitos, espasmos, respiración superficial acompañada de cianosis y discrasia sanguínea). Su teratogenicidad, mutagenicidad y cancerogenicidad no están bien definidos.

⁴ La Contaminación ambiental en México., Jiménez Cisneros Blanca E.

1.2.7.9. Heptacloro y heptaclorepóxido.

La exposición prolongada del Heptacloro y heptaclorepóxido se ha asociado con lesiones hepáticas y efectos tóxicos en el sistema nervioso central. Ha demostrado ser teratogénico, mutagénico y carcinogénico en animales.

1.2.7.10. Metoxicloro.

El Metoxicloro, es un compuesto cuya toxicidad aguda es relativamente baja y que no provoca efectos teratogénicos en ratas ni mutagénicos en bacterias. En condiciones normales de uso, el metoxicloro no parece ser perjudicial para el medio ambiente. No obstante se ha detectado ocasionalmente en el agua para beber, se cree que la ingesta diaria a través de los alimentos y el agua para beber es inferior a $1 \mu\text{g}^4$ por persona.

1.2.7.11. 2,4-D

El 2,4-D rara vez se encuentra en los alimentos y en escasas concentraciones en el agua. Existen indicios de que el 2,4-D puede ser carcinogénico y se ha reportado que provoca fatiga, dolores de cabeza así como pérdida del apetito. El hombre detecta y rechaza su sabor y olor en concentraciones de $0.05 \mu\text{g}/\text{L}^4$.

1.2.8. Métodos de prueba para los parámetros orgánicos

Cromatografía de gases

Se utiliza para la separación de sustancias gaseosas. La Fase Móvil es un Gas (llamado Gas Portador) y la Fase Estacionaria puede ser un sólido (Cromatografía Gas-Sólido) o una Película de líquido de alto punto de ebullición (Generalmente Polietilén-Glicol o Silicón) recubriendo un sólido inerte (Cromatografía Gas-Líquido). El cromatógrafo de gases está constituido normalmente por un suministro y una entrada del gas portador, un puerto de inyección, una columna normalmente localizada en el interior de una cámara termostaticada (horno), un

detector y un sistema computarizado para analizar, registrar e imprimir el cromatograma.

La muestra se introduce a través del sistema de inyección dentro de la columna que es el sitio donde ocurre la separación. La columna de aluminio, acero inoxidable, vidrio o teflón contiene la fase estacionaria sólida o líquida y está sujeta a la superficie por un soporte que es generalmente de sílice. La fase móvil o gas portador transporta los componentes de la muestra a través de la columna, por esta razón debe ser inerte para evitar interacciones con la muestra o la fase estacionaria, y ser capaz de minimizar la difusión gaseosa. Al final de la columna existe el detector que permite la detección y cuantificación de las sustancias, midiendo conductividad térmica y electronegatividad de las sustancias. Se produce una señal tipo eléctrico, que posteriormente se amplifica por un registrador gráfico o un integrador permitiendo indicar el momento en que salen de la columna los componentes. La salida de la sustancia se registra en un cromatograma en forma de picos y se determinan medidas como la altura y el área del pico.

1.2.9. Iones

1.2.9.1. Cianuros. (CN⁻)

Los cianuros de potasio y de sodio son las sales tóxicas más difundidas, una cantidad de 0.15 a 0.20 g basta para provocar la muerte en un adulto a dosis inferiores de 10mg, son aceptados por el organismo ya que el compuesto es transformado en tiocianato. Estas sales pierden espontáneamente su poder letal con el transcurso del tiempo, pues se autotransforman en carbonatos de sodio o potasio, respectivamente. Los síntomas al comienzo son de sensaciones cáusticas pronto suceden palpitaciones, vértigos, disnea y el enfermo pasa de la etapa convulsiva y problemas respiratorios. El peso corporal 12 mg/Kg. de peso corporal, en la toxicidad aguda tiene efectos en la tiroides y en el sistema nervioso.

1.2.9.2. Cloruros. (Cl⁻)

Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua y las bebidas tengan un sabor desagradable. Los umbrales de sabor de anión cloruro dependen del catión asociado y son del orden de 200 a 300 mg/L para el cloruro de sodio, potasio, y calcio.

El cloruro de sodio, da al agua un sabor salado, esta misma puede tener un efecto tóxico, produciendo anorexia, pérdida de peso y deshidratación. Hay que tener cuidado pues la misma concentración que no produce toxicidad en invierno, en el verano por el aumento del consumo de agua y la evaporación que concentra solutos puede resultar tóxica.

El Cloruro de magnesio: da al agua un gusto muy amargo y acción purgante suave. Se producen pérdidas de apetito y diarreas intermitentes. El efecto se elimina si hay cantidades similares de sulfato de sodio.

El Cloruro de calcio: da al agua gusto muy amargo y acción purgante suave, es más tóxica que el cloruro de sodio por lo cual puede producir baja fertilidad.

1.2.9.4. Fluoruro. (F)

El fluoruro se encuentra en los tejidos animales en concentraciones que oscilan entre 0.2 y 1.5 por 100 g de materia seca. Los huesos y los dientes contienen cantidades apreciables de 20 a 30 mg por 100 de ceniza. Cuando el flúor se halla en cantidades adecuadas, favorece la dureza de dientes y huesos. La concentración óptima para evitar la caries en la población infantil es de 0.7a0.12mg/L³ . A concentraciones superiores de 4.0 mg/L provoca la fluorosis dental (oscurecimiento del esmalte). Un consumo de 8 a 20 mg/L de fluoruro durante un periodo largo afecta al sistema óseo (pueden hasta estallar), retraso del crecimiento, cojera, y rigidez. Con base a un consumo de 2 litros de agua por día se considera que una dosis de 2000 mg/L* es letal.

1.2.9.5. Nitratos y Nitritos. (NO₃⁻,NO₂⁻)

Los nitratos y nitritos presentes en el agua, se debe a contaminación con materia orgánica en descomposición. El problema aumenta en épocas de lluvias y disminuye en época seca, así

³ Manual de Toxicología. Curtis d. Klaassen, Ph. D.

como en aquellos animales alimentados con raciones de baja energía o carentes de minerales en los que se agravan los efectos. Si se detecta su presencia deben realizarse análisis bacteriológicos, pues se pueden producir intoxicaciones.

Su presencia de sulfuros indica el contacto del agua con materia orgánica en putrefacción, con un análisis bacteriológico puede inferirse su existencia. El más común es el sulfuro de hidrógeno. Los síntomas y signos que produce son disnea, parálisis respiratoria, cianosis, convulsiones y apatía. Cantidades mínimas pueden llevar a la muerte.

La presencia de fosfatos indica contaminación con materia orgánica. Se determina mediante análisis bacteriológico. Se trata con cloro como desinfectante.

Los nitratos son peligrosos para la salud humana siempre y cuando no pase de 45mg/L*. Los nitratos pueden provocar cianosis tóxica y daños sanguíneos

Niveles de NO ₃ en agua	Síntomas	
0 – 3 ppm	Probablemente ningún efecto dañino. Ligera avitaminosis	1.2
30 – 50 ppm	Uso arriesgado, posibles abortos, en especial a partir del segundo parto	.9.
50 – 200 ppm	Es peligroso su uso. Abortos y fetos mal desarrollados. A largo plazo problemas más agudos.	6.
200 o más	No usar bajo ningún concepto esta agua, plena seguridad de aparición de enfermedades y accidentes	Su lfat

os. (SO₄²⁻)

Los sulfatos actúan sobre el equilibrio ácido-básico por alterar el tenor de calcio y fósforo normales en suero, se atenúa con la presencia de calcio en agua.

Tienen efecto laxante a concentraciones del orden del 1,000 mg/L*, afecta a la corrosión de los metales y a la absorción de calcio, provocando inconvenientes en la formación de hemoglobina con la consiguiente anemia, se observa también decoloración del pelo.

El Sulfato de magnesio y sulfato de sodio: dan al agua sabor amargo y también efecto purgante, el sulfato de sodio es menos perjudicial que el de magnesio, la presencia de bicarbonato disminuye la tolerancia al sulfato de sodio.

El Sulfato de calcio: es el menos perjudicial, se puede usar agua con concentración saturada sin efectos perjudiciales

1.2.10. Método de Prueba para los Iones

Para la mayoría de los parámetros se utiliza la prueba **Cromatografía de Iones**.

Consiste en inyectar una muestra de agua en una corriente de disolvente carbonato-bicarbonato y pasa a través de una serie de intercambiadores iónicos. Los aniones que interesan se separan según sus afinidades relativas mediante un intercambiador de baja capacidad, fuertemente aniónico (columnas de protección y separación). Los aniones separados son dirigidos hacia un intercambiador catiónico fuertemente ácido (supresor de lecho de empaquetamiento compacto, o a través de una fibra hueca de membrana intercambiadora de cationes (supresor de fibra), también puede pasarse a través de un supresor de micromembrana bañado en una solución muy ácida de flujo continuo (solución regenerante). En el supresor los aniones separados se transforman en su forma ácida de alta conductividad, y el disolvente carbonato-bicarbonato se convierte en ácido carbónico débilmente conductor. Los aniones separados en su forma ácida se miden por conductividad. Se identifican sobre la base del tiempo de retención, comparado con los patrones. La determinación cualitativa se realiza midiendo la altura del pico o la superficie que éste delimita.

1.2.11. Radiactivos

La dosis efectiva concertada, que se expresa en sieverts (Sv). El riesgo de y las consecuencias perjudiciales para la salud que comporta la exposición a la radiaciones es función de las dosis total recibida. El nivel de referencia recomendado para la dosis efectiva concertada es de 0.1 mSv en el agua consumida durante un año, por debajo de este nivel de referencias, el agua es apta para el consumo humano, sin que sea necesario ninguna medida para reducir la radiactividad. Para efectos prácticos se determina la dosis en Becquerel por litro, la

concentración óptima es de 0.1 Bq/L⁴ para la radiactividad alfa global y de 1 Bq/L para la radiactividad beta global, para determinar se consultan en unas tablas y la dosis SV convertirlos en Bq.

1.2.12 Método de Prueba

La detección se realiza en dos niveles. En el primero, se determina la actividad de la muestra (determinación de la radiactividad alfa y beta total) y de ser necesario, se procede al segundo nivel, donde se identifican los radionúclidos que la provoca. Este último, debido a su costo y complejidad, rara vez es utilizado. El estándar de 1,000 Ci/L⁵ de actividad beta (en ausencia de emisores alfa y de estroncio-909, se emplea sólo como prueba preeliminar que, cuando se sobrepasa, se produce la identificación de los radioisótopos.

1.3 Métodos de Tratamiento

1.3.1. Medidores de flujo.

Es una de las operaciones importantes en el tratamiento de aguas de consumo, imprescindible para el resto de los tratamientos a realizar, ya que si la medida del caudal no es correcta, los reactivos no se adicionan en la cantidad apropiada y las instalaciones no estarán bien dimensionadas. Por otra parte es uno de los errores que con mayor frecuencia se comete, fundamentalmente en los servicios de abastecimiento. Esta operación debe efectuarse a la entrada del agua. Uno de los métodos más sencillos y apropiados es el de los flotadores, basado en el tiempo que tarda un cuerpo flotante en recorrer una cierta distancia en un canal de sección regular y conocida, se determina la sección y se multiplica por el gasto (método área – volumen), en otras plantas se pueden usar vertedores o canales parshall.

1.3.2. Aireación

⁴ Guías para la calidad de agua potable. OMS. 1995.

⁵ La contaminación ambiental en México. Jiménez Cisneros Blanca.,

El tratamiento por medio de aireación, es el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ellas.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- Oxidación parcial de sustancias inorgánicas reducidas, tales como sales de hierro y manganeso.
- Eliminación de sulfuro de hidrógeno y anhídrido carbónico agresivo. No es un método eficaz para eliminar olores y sabores, ya que la presión de vapor de la mayor parte de las sustancias que los producen es baja.
- Evaporación de algunas sustancias volátiles que puedan contener el agua.
- Nitrificación – desnitrificación del amoníaco, la nitrificación consiste en la oxidación del amonio (NH_4^+) a nitratos (NO_3^-), pasando por nitritos (NO_2^-), proceso que se realiza en dos escalones, mediante dos grupos de bacterias, mientras que la desnitrificación consiste en la reducción de nitratos y nitritos a nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno y se requiere una sustancia donadora de electrones.
- Disminución de las condiciones de anaerobiosis y de la corrosión, ya que cuando el agua contiene concentraciones altas de amoníaco y sulfatos se favorece la proliferación microbiana.
- Mejora de los caracteres organolépticos por aumento de la concentración de oxígeno disuelto.
- Eliminación del exceso de oxígeno disuelto, lo que favorece la decantación. Cuando la concentración de oxígeno es muy elevada en el agua puede dificultar la sedimentación de los flóculos tras la coagulación–floculación, pues al desprenderse las burbujas

pueden arrastrarlos hacia la superficie y en estos casos la aireación facilita la eliminación del exceso de oxígeno.

La eliminación de gases, como sulfhídrico o CO₂, del agua depende de las cantidades relativas de dichos gases, en el aire y en el agua, en relación a su valor de saturación. La velocidad de intercambio es la función de la superficie aire-agua que se consiga en el sistema aireador, del pH y de la alcalinidad.

En la práctica, los aireadores deben estar diseñados de tal manera que la superficie de contacto aire-agua sea la mayor posible y que las sustancias volatilizadas puedan ser arrastradas por la misma corriente de aire empleadas en la aireación del agua.

1.3.3. Coagulación-floculación.

Este proceso remueve sólidos que, debido a su tamaño pequeño, no sedimentan por acción de la gravedad o lo hacen en forma muy lenta, este tratamiento se aplica cuando:

- El agua que contiene gran cantidad de compuestos en estado coloidal o suspendido, que son o no tóxicos.
- Se desea garantizar la sedimentación de los sólidos.
- Se requiere un pretratamiento con la finalidad de aumentar la eficiencia de los procesos subsecuentes de remoción.

Coagulante. Es un agente químico que se agrega al agua y cuyas propiedades hace posible la sedimentación de materias suspendidas, finamente divididas o al estado coloidal.

Coagulación. Es el proceso o tratamiento que envuelve una serie de operaciones mecánicas mediante las cuales el agente coagulante se torna efectivo. Este proceso abarca tres fases.

- Agregado de sustancias químicas.
- Mezcla o difusión, etapa en la cual el coagulante disuelto se dispersa rápidamente y en forma turbulenta en el agua cruda.
- Floculación proceso que comprende una agitación lenta del agua por un periodo relativamente largo, durante el cual las partículas finamente divididas o al estado coloidal, van neutralizándose, juntando y aglomerándose para formar un floculo hidratado de tamaño tal que puedan sedimentar bajo la acción de la fuerza de gravedad. Sin embargo los flóculos más finos no son eliminados por sedimentación, y por lo tanto hay que recurrir a la filtración como proceso complementario posterior a la coagulación. No obstante, cuando la cantidad de materia finamente dividida o al estado coloidal, arcilla, limo, materia orgánica, algas y bacterias que no excedan de ciertos límites, se puede eliminar la coagulación requiriéndose en este caso la filtración lenta.

Las fuerzas que interactúan en los coloides son:

El movimiento browniano: Es una evidencia experimental el que partículas con diámetros del orden de 10^{-6} m o menores, en el seno del agua, se encuentran en un constante movimiento rápido, desordenado y al azar. La obtención de la energía para dicho movimiento se da por las colisiones de las partículas con las moléculas de agua y por la temperatura del medio, todo este movimiento contribuye a la estabilidad, pero supone una probabilidad de contacto entre las partículas cuyo aglutinamiento en agregados mayores dependerá de la desestabilización electrostática. Así es posible fomentar las colisiones entre partículas estableciendo gradientes hidráulicos, es decir, recurriendo a la mezcla o creando zonas de turbulencia, no obstante al aumentar el tamaño de la partícula, el movimiento browniano llega a ser despreciable

Las fuerzas de London – Van der Waals, que pueden describirse como una fuerza atómica cohesiva que existe entre todos los átomos, atrayendo a cada uno todos los demás, generalmente se considera que el radio de acción de esta fuerza es reducido, en el caso de las partículas coloidales por efecto de agregación el radio se amplía.

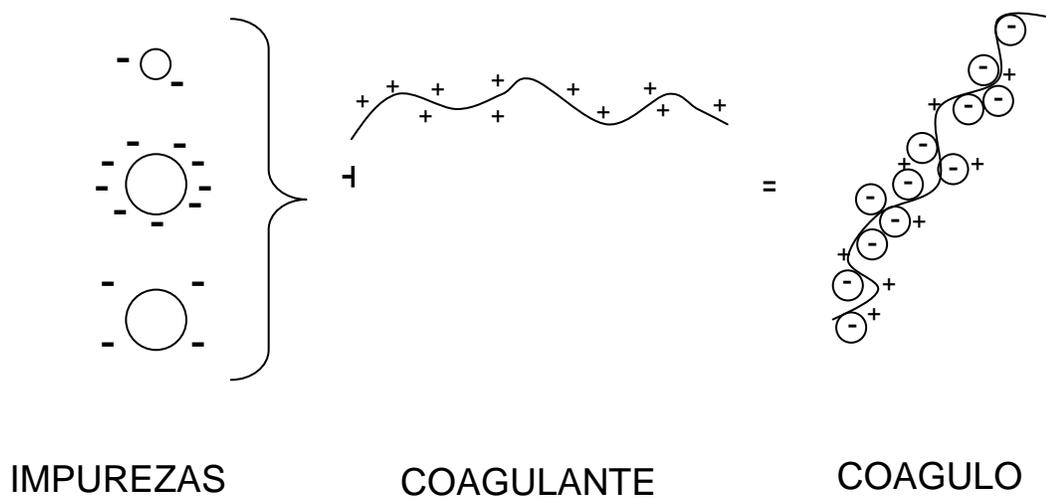
Si las fuerzas eléctricas de repulsión entre las partículas se reducen en grado suficiente para permitir que establezcan contactos entre si, estas fuerzas permitirán que las partículas se adhieran unas a otras, por los que se aglomeran para la formación del floc.

1.3.4. Tipos de coagulante.

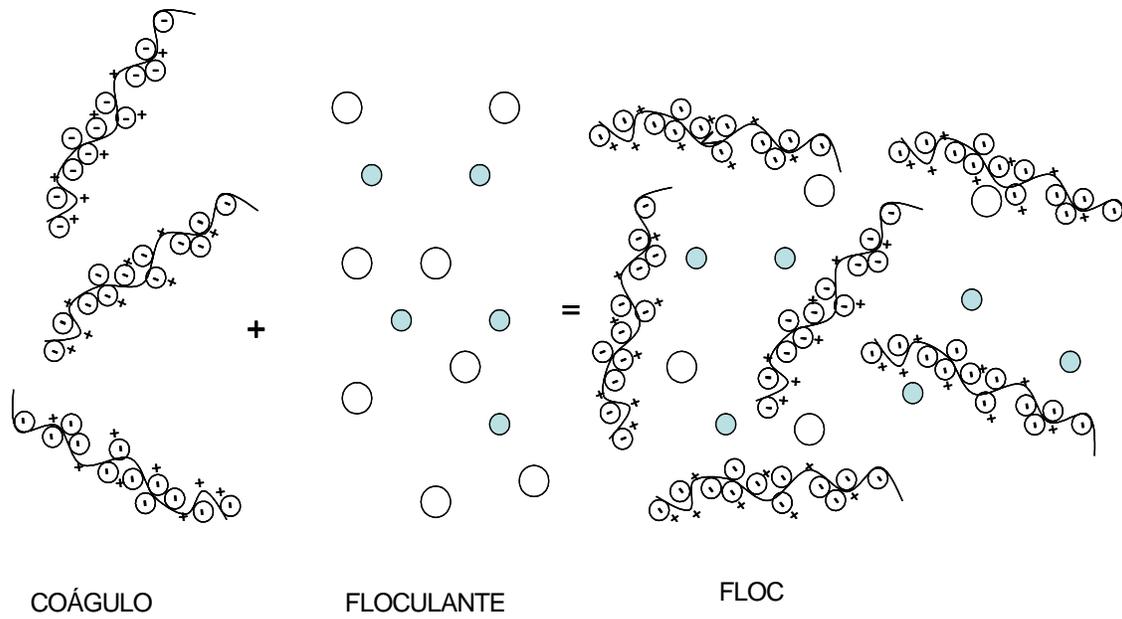
Los coagulantes más usados para el tratamiento de agua son:

- Sulfato de aluminio.
- Sales de hierro.

Mediante la adición de sulfato de aluminio, cloruro o sulfato férrico, sales que producen la aglomeración de los coloides o flóculos que pueden decantar debido a su mayor tamaño. Los coagulantes cuyas cargas positivas neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados flóculos. La dosis de coagulantes son mayores a 0.03 milimoles/L como el hierro y mayores a 0.05 milimoles/L⁶ como el Aluminio y el pH más cercano al neutro, es más adecuado.



⁶ Tom D. Reynolds., Unit Operations and processes in environmental engineering



1.3.5. Eliminación de hierro, manganeso y fluoruros.

1.3.5.1. Hierro

Los iones ferrosos y manganeso, en su forma reducida de valencia, son solubles en agua y se encuentran como tales en algunos suministros. Su eliminación consiste en la oxidación forzada para precipitarlos como agentes oxidantes se pueden utilizar el oxígeno del aire, cloro o permanganato.

Para oxidar con aire solamente se requiere un burbujeo mediante la inyección de aire comprimido, que al mismo tiempo agita al agua. El cloro aunque oxida más rápidamente a pH bajo, tiene el inconveniente del mayor costo operativo, éste puede aplicarse en la línea de alimentación. El permanganato aparte del inconveniente económico, debe regularse muy bien ya que un ligero exceso colorea inmediatamente el agua.

Cuando la cantidad de hierro es generalmente importante, se realiza una floculación, utilizando como reactivo el sulfato de aluminio y la cal, seguida de una decantación y filtración. El proceso de filtración se hace sobre productos a base de manganeso que tienen la propiedad de provocar la catálisis, la oxidación y la coagulación de las sales ferrosas.

1.3.5.2. Manganeseo

El manganeseo se elimina más difícilmente que el hierro, pues la coagulación del hidrato mangánico es muy costosa, en ciertos casos se elimina por oxidación con el hierro, pero la mayoría de las veces es necesario realizar un tratamiento secundario, que consiste en una filtración sobre materiales especiales impregnados de bióxidos de magnesio y con velocidades de paso muy elevados (8 a 15 m³/h)⁷.

1.3.5.3. Fluoruros

Se demostró que la severidad de la fluorosis estaba directamente relacionada con la concentración de fluoruro del agua consumida durante el período de calcificación de la dentadura permanente. Los niños que estaban expuestos continuamente al consumo de agua, sufrían invariablemente de esmalte moteado (manchado oscuramente), en la dentadura permanente, produciendo la pérdida eventual de los dientes por desgaste.

Se cuenta con tres métodos de defluoruración, que pueden ponerse en práctica bajo diferentes condiciones de la calidad del agua y disponibilidad de compuestos químicos para su tratamiento. Éstos involucran el uso de alúmina activada, carbón animal o compuestos de magnesio. Los dos primeros métodos emplean medios insolubles y granulados que eliminan los fluoruros conforme el agua se infiltra a través de ellos. El medio filtrante se regenera periódicamente con un tratamiento químico cuando se satura con el fluoruro eliminado del agua. En el tercer método, los fluoruros se suprimen junto con el magnesio que pueden agregarse en la forma de cal, ó también se puede utilizar la filtración sobre fluorex, mezcla especial de fosfato tricálcico y de hidroxiapatita. Tanto los fluoruros como el magnesio se eliminan subsecuentemente, mediante el uso de tanques de sedimentación.

⁷Distribuciones de agua en las Aglomeraciones Cauvin

1.3.7. Sedimentación

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad, en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos, en estos casos se le conoce como presedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentales que han sido producidos por el tratamiento químico. Como en el caso de remoción de color y turbiedad.

1.3.7.1. Tipos de sedimentación.

Tipo I Sedimentación libre.

Consiste en suspensiones cuyas partículas no pueden flocular debido a su baja concentración depositándose sin interacciones significativas entre ellas.

La partícula que se encuentra en suspensión en el líquido está sometido a una fuerza descendente debido a la gravedad, otra fuerza resistente, y al rozamiento con el fluido, que es la resultante entre la fuerza de la viscosidad y la inercia.

Tipo II Sedimentación difusa de partículas floculadas.

La suspensión con una concentración relativamente baja de sólidos floculantes, por ejemplo, cuando al agua se le agrega un químico para su floculación, las partículas pueden aglutinarse, flocular y sedimentar con una velocidad creciente en un depósito de flujo.

Tipo III Sedimentación Zonal o frenada.

Esta se caracteriza en suspensiones con una concentración muy elevada de partículas, floculantes, o las suspensiones con concentración de sólidos, las partículas se adhieren entre sí,

la masa sedimenta en bloques, la interacción entre las partículas provoca una disminución de la velocidad de sedimentación.

Tipo IV Sedimentación Compresión.

La compresión ocurre cuando las partículas que se decantan se aumentan en el fondo del tanque de sedimentación, el peso de la partícula está soportada por la masa compacta en la cual la velocidad de sedimentación es lenta.

1.3.8. Filtración

La filtración del agua es un proceso físico-químico, que separan los sólidos suspendidos y la materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. Durante la filtración a profundidad, el agua llena los poros del filtro y las impurezas son retenidas en el empaque por adhesión. Aunque los filtros de membrana tienen eficiencia elevada, la rentabilidad del proceso hace que estos filtros se limiten para tratamientos específicos y que sea la filtración a profundidad la más común para el agua. La filtración eficiente implica tanto la desestabilización de la partícula como su transporte y retención. Por ello, el empleo de coagulantes es de gran ayuda durante éste proceso. Ya que es siempre complementario de otros. Para evaluar su eficiencia se emplean los criterios de producción de agua por corrida y la eliminación de turbiedad. En la medida en que se emplean medios más finos, mayor es la eficiencia lograda pero menor es la duración de la corrida. Para mantener el buen rendimiento se debe lavar periódicamente el filtro, lo que supone, por una parte, el consumo grande de agua procesada para este fin, y por otro, la interrupción del proceso. El lavado de estos sistemas se realiza en sentido ascendente hasta una expansión del lecho de entre 20% y 50%.

Entre otras propiedades, la filtración:

- Remueve partículas y materia coloidal no sedimentables después de la floculación biológica, química, o ambas.
- Incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo, metales pesados, asbestos, bacterias, huevos de helmintos, virus.

- Mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias inertes.

1.3.9. Adsorción

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua para atrapar el contaminante en la superficie del carbón. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m²/g)⁸. Esta provoca que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo puede ser en polvo y carbón activado granular, éste se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar las siguientes sustancias solubles por adsorción.

El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como, carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo. El carbón se transforma en "activado" cuando es calentado a altas temperaturas (800 a 1000°C) en la ausencia de oxígeno, se compone en un 75-80% de carbono y un 5-10% de cenizas, físicamente se presenta en polvo o en grano. Existen varios tipos de carbón activo, según la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación.

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción y en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlichen, el que representa el equilibrio en un rango límite en una concentración del soluto.

Función de Freundlich:

$$\frac{x}{m} = X = KC_e^{1/n} \dots\dots\dots(\text{Ec.1.3.9.1})$$

x : masa del soluto adsorbente

⁸ Walter J. Weber, "Control de la Calidad del Agua, Procesos Fisicoquímicos", ed. Reverte, S.A

m: masa del adsorbente

X: masa a razón de la fase sólido – masa del soluto adsorbente por masa del adsorbente

C_e : concentración de equilibrio del soluto, masa/volumen.

K, n = constantes experimental

1.3.10. Ósmosis inversa

Ósmosis es el paso espontáneo donde el agua pasa a través de una membrana semipermeable, desde una solución menos concentrada a una solución más concentrada, y permite el paso del agua pero no de las sales disueltas. El agua atraviesa la membrana hasta alcanzar el equilibrio osmótico. Éste paso se hace a una presión precisa llamada presión osmótica. Aplicando a la solución concentrada una presión superior osmótica el proceso se invierte, es decir, el agua es forzada a pasar a través de una membrana semipermeable, desde una solución más concentrada a una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión. Este fenómeno se conoce como ósmosis inversa.

En términos simples, ósmosis inversa es la filtración bajo presión a través de una membrana cuyos poros son pequeños. Los poros de la membrana están concebidos de manera que la mayoría de las sales, de los inorgánicos y de los iones son eliminadas 90-99%. Las moléculas de agua atraviesan fácilmente la membrana, las moléculas orgánicas pueden ser eliminadas o pasar según el tipo de membrana utilizado. Finalmente, las partículas en suspensión y bacterias son prácticamente eliminadas por completo mediante la ósmosis inversa.

Las aplicaciones de la ósmosis inversa son:

- Desalinización de aguas de pozo y de mar a bajo costo.
- Fabricación de agua ultra pura para laboratorios e industria farmacéutica y electrónica.
- Purificación y desmineralización del agua a la entrada de las calderas industriales.

- Recuperación de sales de níquel o de cromo y purificación del agua residual de la galvanización.

La presión osmótica:

Es la que ejerce el solvente para que pase de una zona de menor concentración de soluto a una de mayor. En otras palabras, es la presión necesaria para evitar la ósmosis.

La presión osmótica se representa mediante la ecuación:

$$pV = nRT \dots\dots\dots(\text{Ec.1.6.10.1})$$

Donde:

p: representa la presión osmótica [=] atmósferas

V : volumen de la solución [=] Litros

n: el número de moles de soluto [=] masa del soluto en gramos/masa molecular del soluto

T: temperatura del sistema en [=] °K

R: constante universal de los gases [=] 0.982 atm-L/mol °K,

Para que ocurra la ósmosis es necesaria la presencia de dos soluciones de diferente concentración o una solución y un solvente separados por una membrana semipermeable. Este fenómeno depende tanto de la concentración como de la temperatura del sistema, tal como se expresa al despejar p y reacomodar la ecuación de la presión osmótica:

$$p = n/V (RT) = MRT\dots\dots\dots(\text{Ec.1.3.10.2})$$

Donde:

M: es la concentración molar [=] mol

T: temperatura [=] °K

1.3.11. Control de corrosión

La corrosión es la destrucción progresiva de tuberías y tanques de almacenamiento por acción química del agua. Los principales métodos de control son la estabilización y la adición de agentes acomplejantes. Ambos se basan en impedir la conducción eléctrica entre el agua y los metales añaden en proporción de 1 mg/L⁹ para combinarse con el metal expuesto formando una barrera entre éste y el agua. Los compuestos más empleados son el hexametáfosfato de sodio (Na₆(PO₃)₆) y el silicato de sodio (Na₂SiO₂).

Aunque se desea entregar agua estable, es decir, que no disuelva o precipite carbonato de calcio, es muy difícil, por lo que se entrega agua ligeramente incrustante que impide la corrosión, cabe mencionar la estabilidad del agua se mide en función del pH.

Para controlar la incrustación se requiere de algunos productos con polímeros. Estos inhibidores de incrustación se basan en la química del ácido maléico y el ácido fosfino-carboxílico, ofreciendo una mejora en el funcionamiento a comparación de los productos basados en acrílicos.

1.3.12. Desinfección

Es la inactivación o destrucción de microorganismos, la destrucción total de la materia viviente en el agua. Un buen desinfectante debe ser tóxico para los microorganismos en concentraciones lo suficientemente bajas, pero inocuo para los humanos y animales. Además, debe persistir una concentración remanente para prevenir el crecimiento de organismos en el sistema de distribución de agua potable.

Los factores adversos para la desinfección son la turbiedad y la presencia de organismos resistentes al desinfectante. La turbiedad, principalmente en la forma coloidal, ofrece protección a los organismos, y las partículas mayores pueden absorber el desinfectante reduciendo la concentración efectiva para la desinfección. Los desinfectantes que se emplean son:

➤ Cloro

⁹ Walter J. Weber, "Control de la Calidad del Agua, Procesos Físicoquímicos", ed. Reverte, S.A.

- Ozono
- Yodo.

Los principales factores que influyen en la acción de un desinfectante son:

- Tiempo de contacto
- Tipo y concentración del agente químico
- Intensidad y naturaleza de los agentes físicos
- Temperatura
- Número y tipo de organismos.

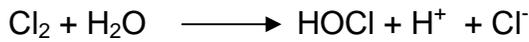
1.3.13. Cloro

El cloro es un oxidante fuerte que se suministra en forma gaseosa o como soluciones de hipoclorito de sodio o calcio y reacciona con el agua para formar HCl (ácido Clorhídrico) y HOCl (hipocloroso), este último es el principal agente desinfectante. El ácido hipocloroso reacciona con el amoníaco para formar cloroaminas que tienen también actividad desinfectantes, aunque más lenta.

Se deja siempre una cantidad excedente (cloro residual) para tener capacidad desinfectante en las tuberías, para ello, es conveniente rebasar el punto de quiebre.

Las sustancias con las cuales reaccionan frecuentemente son Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2 , H_2S_2 así como la mayor parte de los compuestos orgánicos presentes. Las reacciones con los compuestos inorgánicos son, en general, rápidas, en cambio las que se llevan a cabo con compuestos orgánicos son muy lentas y su grado de desarrollo depende de la cantidad de cloro disponible.

El cloro se disuelve en el agua directamente para formar ácido hipocloroso, o bien por una solución cáustica para producir una solución de hipoclorito, el cual al disolverse se produce ácido hipocloroso.



1.3.14. Ozono.

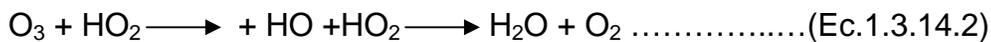
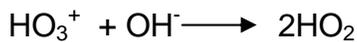
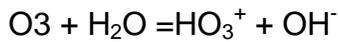
La zonación de las aguas de consumo, puede realizarse con muy diversos fines, mostrándose en muchas ocasiones ser efectivas.

- Limitar la proliferación de algas.
- Disminuir la demanda de cloro y limitar la formación de compuestos orgánicos clorados indeseables.
- Mejorar el tratamiento físico-químico del agua, ya que a pequeñas concentraciones produce una leve floculación que mejora el rendimiento de la filtración posterior.
- Mejorar el tratamiento biológico del agua al romper las moléculas orgánicas grandes y facilitar por tanto su biodegradabilidad.
- Eliminación de olor, color y sabor, por su gran actividad sobre las sustancias que los provocan.
- Oxidación de fenoles, en el caso de combinarse con el cloro producirían clorofenoles, que son de desagradable sabor.

A partir de una corriente de aire u oxígeno puro cuando es sometida a una corriente de alto voltaje.



Ozono como desinfectante¹¹:



Estos radicales libres formados en medio acuoso, (HO_2 y HO), tienen un gran poder oxidante.

La destrucción completa de virus toma lugar con residuales de 0.3 mg/l^{10} con tiempos de exposición de 3 minutos.

Una dosis típica de ozono es de $1.0 \text{ a } 5.3 \text{ Kg/1000m}^3$ ($1.0 \text{ a } 5.3 \text{ mg/l}$)¹¹

- Consumo de energía: $10 - 20 \text{ kw.hr/kg}$ de O_3

- El ozono no puede ser utilizado como desinfectante único, debido a que no tiene efecto residual.

El ozono es generado comúnmente usando el método de corona de descarga, a partir de una corriente de gas de alimentación que contiene oxígeno, dicha corriente debe estar limpia y libre de humedad a fin de proteger al equilibrio de daños. La concentración de ozono varía dependiendo de la fuente de gas de alimentación. El oxígeno gaseoso contiene cinco moléculas más de oxígeno que el mismo volumen de aire del ambiente.

¹⁰ Instituto de ingeniería Monje Ramírez

CONCENTRACIÓN DE OZONO (%EN PESO)		
Tipo de generador de ozono	Aire	Oxígeno
Voltaje controlado, generador de baja y media frecuencia	1.0 - 1.5	2.0 - 3.0
Frecuencia controlada, generador de alta frecuencia	2.5 - 3.0	5.0 - 10.

* Instituto de ingeniería.

1.3.15. Yodo.

Se utiliza principalmente para la desinfección de albercas y de pequeñas cantidades de agua potable. Cuando el I_2 se disuelve en agua, éste puede permanecer en su forma elemental o hidrolizarse a ácido hipocloroso (HOI) dependiendo del pH y la concentración molar del yodo elemental. Tanto el HOI como I_2 son eficientes germicidas, aunque se requiere de mayores cantidades de éstos para lograr las mismas eficiencias germicidas que el cloro.

Las ventajas que tiene utilizar el yodo como desinfectante son:

- El efecto bactericida no es afectado significativamente por el pH.
- Los compuestos orgánicos de nitrógeno y el amoníaco, tienen poca influencia en la eficiencia germicida, ya que éstos no forman compuestos de sustitución con el yodo.
- No hay problemas de olores, sabores, irritantes de ojos y piel cuando se usa adecuadamente como desinfectante de albercas.

Sus desventajas.

- La calidad estética del agua se ve afectada por el ligero color y sabor impartidos por el yodo.
- El costo es alto si se compara con el del cloro.

1.3.15. Ultrafiltración.

La ultrafiltración representa la forma más factible de retener sólidos en suspensión. El tamaño de los poros de las membranas puede ser tan pequeño como de 0.001 a 0.02 micras y pueden procesar aguas con concentración de sólidos. Consigue retener material coloidal y grandes moléculas orgánicas. A través de la membrana se realiza un flujo poroso y viscoso de forma que su estructura física determinará el caudal de paso y el rechazo de partículas. Comparadas con las membranas de ósmosis inversa, son demasiadas porosas para poder desmineralizar y tampoco soportan una presión osmótica importante. El tamaño de poro se caracteriza por el corte de peso molecular que puede cruzar o no la membrana. Van desde 1,000 a 80,000 aunque influye la forma de la partícula.

Las membranas se pueden fabricar con materiales diversos, siempre que sean compatibles con la solución alimentada y los agentes de limpieza que periódicamente se utilizan. Se fabrican con acetato de celulosa, PVC, poliacrilonitrilo, policarbonato y polisulfona. La polisulfona tiene especial interés porque resiste hasta 93 °C, PH desde 0.5 a 13 y muchos agentes químicos.

Tiene múltiples aplicaciones que se aprovechan antes o después de otros equipos. Pueden emplearse para separar ácidos húmicos y fúlvico de agua destinada a alimentar una osmosis inversa. Separa la materia coloidal, la materia orgánica de alto peso molecular y los microorganismos que no son separados por el intercambio iónico. Su aplicación no permite separar material disuelta.

La ultrafiltración por membrana depende de una fuerza impulsora, presión y una membrana que sea permeable a algunos de los componentes de una disolución líquida o mezcla e impermeable a otro, la ultrafiltración no está controlada por la presión osmótica y puede llevarse a cabo a diferencias de presión bajas 0.35 a 7 Kg/cm²¹¹.

Una de las principales aplicaciones de la ultrafiltración es desalación de agua de mar. La ultrafiltración se aplica generalmente para separar solutos que tienen un peso molecular superior a 500 y tienen presión osmótica muy pequeñas a concentraciones moderadas. Esto incluye

¹¹ Comisión Nacional del Agua

materiales como bacterias, virus, almidón, gomas, proteínas, arcillas y pigmentos de pintura. El límite superior de peso molecular para la ultrafiltración se define generalmente como 500000, por encima de este tamaño molecular, la separación se llevará a cabo por la filtración microporosa convencional.

1.3.16. Desmineralización.

La desmineralización o la desionización de agua, es la eliminación de la materia mineral que se encuentra en ella, por medio de intercambio iónico, a diferencia de la destilación.

El proceso de la desmineralización por intercambio iónico se efectúa removiendo los cationes en un intercambiador catiónico ciclo hidrógeno, y los aniones en un intercambiador aniónico, el efluente del proceso de intercambio catiónico ciclo hidrógeno, lleva ácidos formados de los aniones presentes en el agua. Los ácidos que pueden estar presentes son sulfúrico (H_2SO_4), clorhídrico (HCl), puede estar presente un ácido débilmente ionizado, como el ácido carbónico (H_2CO_3) y ácido silícico (H_2SiO_3).

CAPITULO II

MARCO NORMATIVO

En cada uno de los países se tienen normas relacionadas con aguas para el consumo humano, lo cual ayuda a determinar que la producción y distribución del agua potable sea monitoreada y tenga un control de calidad de agua para suministrarla.

En México se cuentan con un reglamento o normas, que definen el término “agua potable”, es decir los parámetros a seguir para que el agua sea inocua.

Por lo cual es indispensable conocer las leyes y normas relativas al suministro de agua potable ya que ellas definen las funciones y responsabilidades de quienes suministran el servicio y constituyen la base para que la autoridad competente determine si se está prestando o no el servicio debido.

La norma principal para la calidad de agua es la “*NOM-127-SSA1-1994*”. *Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. “Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización,”*, que establece la calidad del agua potable para determinar que sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles para no representar un riesgo en la salud del hombre, hay otras que conforman la calidad del agua, las cuales son:

- **NOM 012-SSA1-1993**, *"Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados"*.
- **NOM-014-SSA1-1993**, *"Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados"*.
- **NOM-179-SSA1-1998**, *"Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público."*

Las Normas antes citadas son responsabilidad del Sector Salud quien las vigila en coordinación con la Comisión Nacional del Agua. Estas normas se desarrollaron con la idea de que el agua es un factor fundamental para reducir el riesgo de transmitir diversas enfermedades, particularmente las gastrointestinales y para poder asegurar su calidad, se requiere controlar el sistema de abastecimiento así como a sus operadores. Se entiende por sistemas de abastecimiento el conjunto intercomunicado de fuente, construcciones, instalaciones y equipos de las obras de captación, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción, redes de distribución y tomas domiciliarias.

2.1 NOM-012-SSA1-1993

El objetivo de la NOM-012-SSA1-1993, es establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados para proteger el agua de contaminación. Para las plantas potabilizadoras, esta norma específica que:

- Deben estar protegidos mediante cercas de mallas de alambre o muros con la altura y distancia suficiente que impida la disposición de desechos sólidos, líquidos o excretos y el paso de animales.
- Sólo se debe permitir el acceso a personal autorizado.
- Se deben mantener siempre aseadas y pintadas de acuerdo con los códigos de colores correspondientes en sus diferentes edificios de dosificación de reactivo, laboratorios, máquinas, almacenes, etc. Además, los pisos, y paredes deben ser recubiertos con materiales de fácil limpieza.
- Los edificios destinados al almacenamiento y aplicación de desinfectantes, sea cloro, compuesto de cloro u otros productos químicos, deben mantener el piso seco y ventilación adecuada que permita la circulación cruzada del aire como lo marca las reglas de seguridad e higiene.

Además, la norma señala que debe preservarse la calidad bacteriológica del agua en cualquier parte del sistema, hasta en los puntos más alejados de la red de distribución mediante una desinfección continua y permanente que garantice la existencia de cloro residual libre entre 0,5 a 1,0 mg/L³. Esto debe cumplirse aún en el caso de fallas mecánicas, eléctricas o paros por mantenimiento o cualquier otra causa.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia, en coordinación con la Comisión Nacional del Agua.

2.2. NOM-014-SSA1-1993

Esta norma tiene por objeto establecer los procedimientos sanitarios para el muestreo bacteriológico y fisicoquímicos de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. También, establece los criterios para manejo, preservación y transporte de muestras. La norma es de observancia obligatoria para los encargados de los sistemas de abastecimiento de agua, para uso y consumo humano; corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia y en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, su vigilancia.

2.2.1 Selección de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo deben ser definidos para cada caso, tomando en consideración los siguientes criterios:

- Puntos muertos, Zonas de baja presión.

- Zonas con antecedentes de problemas de contaminación.

³ Norma 012-SSA1-1993.

- Zonas con fugas frecuentes, Zonas densamente pobladas y con alcantarillado insuficiente.
- Tanques de almacenamiento abiertos y carentes de protección.
- Zonas periféricas del sistema más alejadas de las instalaciones de tratamiento.

Las muestras deben ser etiquetadas indicando sitio, fecha y hora de muestreo, temperatura ambiente del agua, pH, cloro residual, análisis por efectuar, técnicas de preservación, y observaciones relativas a la toma de muestra y nombre de la persona que realiza el muestreo.

2.2.2. Indicaciones para el análisis bacteriológico

Preparación de los frascos de muestreo

Los envases para la muestra deben ser de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada, polipropileno y capacidad de 125 ó 250 mL. Todos los envases se deben esterilizar en estufa a 170 °C por un tiempo mínimo de 60 min. O en autoclave a 120 °C durante 15 min. Cuando se muestrea agua con cloro residual se debe adicionar 0,1 mL de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 mL⁴.

Toma de muestra

En bomba de mano o grifo del sistema de distribución:

- Debe dejarse correr el agua aproximadamente 3 min., o hasta que el contenido de la tubería haya sido totalmente vaciado.
- Se quitan el tapón del frasco, evitando que se contaminen.

⁴ Norma 012-SSA1-1993

- Se toma la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco. Se deja un espacio para agitación previa al análisis (aproximadamente 10% de volumen del frasco).
- Efectuada la toma de muestra, nuevamente se coloca el tapón.

No se deben tomar muestras en grifos que presenten fugas entre el tambor y el cuello, ya que el agua puede correr por la parte exterior y contaminar la muestra. Así como remover los accesorios o aditamentos externos como mangueras, boquillas y filtros de plástico o hule antes de tomar la muestra.

En un cuerpo de agua superficial o tanque de almacenamiento:

- Se deben lavar manos y antebrazos con agua y jabón.
- Se sumerge el frasco con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm., se abre y endereza.
- Efectuada la toma de muestra, se tapa y saca el frasco del agua.

Debe evitarse tomar la muestra de la capa superficial o del fondo, donde puede haber nata o sedimento y en el caso de captación en cuerpos de agua superficiales, no deben tomarse muestras muy próximas a la orilla o muy distantes del punto de extracción. Si existe corriente en el cuerpo de agua, la toma de muestra debe efectuarse con la boca del frasco en contracorriente.

Para tanques de almacenamiento si no es posible tomar la muestra como se indica, debe procederse como si se tratara de un pozo profundo.

En pozo profundo con grifo.

Para tomar la muestra se abre la válvula de una tubería de desfogue y se deja correr el agua por un mínimo de 3 min., se procede de manera similar para toma anterior.

- Si no es posible tomar la muestra con la extensión del brazo, se debe atar al frasco un sobrepeso usando el extremo de un cordel limpio.
- Se mantiene el cuello del frasco hacia abajo y se toma la muestra bajando el frasco dentro del pozo y desenrollando el cordel lentamente, se debe evitar que el frasco toque las paredes del pozo.
- Efectuada la toma se coloca el tapón.

2.2.3 Indicaciones para el análisis físico-químico

Los envases de plástico o vidrio de 2 L deben estar perfectamente lavados y enjuagados con agua destilada o desionizada, además de contar con tapones de cierre hermético.

Tanto las muestras tomadas para bacteriología como para las pruebas fisicoquímicas, deben colocarse en hielera con bolsas refrigerantes o de hielo para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre los 4 y 10 °C y sin congelar las muestras. El periodo máximo que debe transcurrir entre la toma de muestra y el análisis bacteriológico es de 6 horas. Para el estudio físico-químico el periodo depende de la preservación empleada para cada parámetro.

Para no confundir la muestra, éstas deben ser identificadas con etiquetas que tendrán algunas especificaciones, como la hrs., lugar donde se realizó la muestra, así como llevar un registro de datos, temperatura, tipo de análisis a efectuar, observaciones y nombre de la persona que realizó el muestreo.

2.3. NOM-179-SSA1-1998

Esta norma, responsabilidad de la Secretaría de Salud, propone mejorar el control sanitario del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Por ello, establece los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control

de la calidad del agua para consumo humano, y la necesidad de que las autoridades competentes cuenten con programas estructurados para evaluar a los sistemas de abastecimiento, de manera que se garantice el suministro de agua potable a la población. Determina los requisitos en sistemas de abastecimiento de localidades con una población de 50,000 habitantes o menor. Los resultados de los análisis se deben conservar en archivo, durante tres años como mínimo y estar a disposición de la autoridad competente, cuando ésta lo solicite.

Para sistemas con más de 50 000 habitantes, el organismo operador debe contar con un Certificado de Calidad Sanitaria del Agua, otorgado por la Secretaría de Salud, siendo el propio organismo el responsable del cumplimiento de los Programas de Análisis de Calidad del Agua, de la inspección de las instalaciones hidráulicas, del mantenimiento y de la capacitación. El avance de estos programas debe ser registrado en bitácoras actualizadas o archivo y estar disponible para la autoridad competente cuando ésta lo solicite, durante un mínimo de cinco años, al igual que los resultados de los análisis de agua.

Se considera que la potabilización debe operar de forma que el agua en la red de distribución, incluyendo los puntos más alejados, contenga cloro residual libre entre 0,2 a 1,5 mg/L de conformidad con la “NOM-127-SSA1-1994”, cumpliendo además con el examen microbiológico señalado por la misma NOM. El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener, *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 mL”.

Conforme a esta norma, las autoridades locales, en el ámbito de su competencia deben establecer con una periodicidad anual, los programas de vigilancia y los organismos operadores deben incluir en su Programa de Análisis de Calidad del Agua, un análisis inicial en época de disminución del caudal, por única vez en todas las fuentes de abastecimiento y efluentes de plantas potabilizadoras, que incluya todos los parámetros especificados en dicha norma.

2.4. Estudios realizados en algunos Estados y ciudades de la república Mexicana.

Los estudios que se han realizado en México de agua potable no cumplen con los límites que marca la norma de salud ambiental “*NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamiento que debe someterse el agua para su potabilización*”, situación que a conducido en la actualidad tener registrados más de 20 padecimientos, en los que el líquido vital actúa directamente o indirectamente en su aparición, se estima que en general, la mala calidad del agua para consumo humano incide en 80 % de los casos de enfermedades infecciosas intestinales y en 33 % de los decesos.

Agua para consumo humano con calidad crítica.			
Estado	Parámetros críticos	Concentración (mg/l)	NOM-127-SSA1-1994 (mg/l)
Aguascalientes	Flúor	1.50 - 9.00	1.50
Baja California Sur	Dureza de calcio	300.00 - 400.00	-
Comarca Lagunera	Sulfatos	28.00 - 485.00	400.00
	Arsénico	0.09 - 0.59	0.03
Durango	Flúor	1.40 - 42.00	1.50
	Arsénico	0.06 - 0.44	0.05
Hidalgo	Turbiedad	11.00 - 31.00	5 UTN
	Flúor	1.6 - 2.00	1.50
	Nitratos	5.20 - 7.80	10.00
	Alcalinidad total	414.00 - 640.00	0.00
	Magnesio	371	-
	Sólidos totales	1,522.00 -1,872.00	1000.00
	Arsénico	0.37 - 1.00	0.03
Michoacán	Turbiedad	1.00 - 22.00	5.00
	Nitrógeno amoniacal	0.05 - 2.50	0.50
Oaxaca	Dureza de calcio	300.00 -329.00	-
	Sulfatos	436.00 - 1,131.00	400.00
Puebla	Alcalinidad total	456.00 - 884.00	-
	Coliformes totales	9.00 - 11,000.00	0.00
	Coliformes fecales	9.00 -11,000.00	0.00
Querétaro	Flúor	1.54 - 2.49	1.50
	Nitratos	5.47 - 15.00	5.00
	Nitrógeno amoniacal	0.62 - 0.80	0.50
	Coliformes totales	3.00 - 261.00	0.00
	Coliformes fecales	3.0 - 105.00	0.00
Quintana Roo	Alcalinidad total	300.00 - 665.00	-
	Dureza de calcio	620.00 - 1,570.00	-
	Sólidos totales	773.00 - 3,042.00	1000.00
	Sulfatos	328.00 - 1,483.00	400.00
San Luis Potosí	Flúor	1.60 - 4.60	1.50
	Coliformes totales	3.00 - 93.00	0.00
	Coliformes fecales	3.00 - 93.00	0.00
Sonora	Nitratos	0.59 - 11.50	5.00
	Coliformes totales	110.00 - 500.00	0.00
	Coliformes fecales	110.00 - 500.00	0.00
Tlaxcala	Coliformes totales	3.0 - 7.00	0.00
	Coliformes fecales	3	0.00
Yucatán	Alcalinidad total	300.00 - 492.00	-
	Coliformes totales	3.00 - 23.00	0.00
	Coliformes fecales	3.00 - 11.00	0.00
Zacatecas	Sulfatos	1,622.40	400.00
	Flúor	2.66	1.50
	Sólidos totales	1,496.00	1000.00
	Coliformes totales	3.00 - 2,400.00	0.00
	Coliformes fecales	3.00 - 2,400.00	0.00

Fuente: Comisión Nacional del Agua.

2.4.1 Estudios del valle de Guadiana (Durango)

En los últimos años, en la región del valle de Guadiana (ciudad de Durango y poblados cercanos), se han detectado niveles de concentración de arsénico (As), en algunos pozos de abastecimiento de agua potable, que superan el límite máximo permisible establecido por la legislación mexicana y los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

El arsénico se encuentra en la naturaleza en forma de diversos minerales. Todos sus compuestos solubles son altamente tóxicos. Las formas orgánicas de este elemento son usualmente menos tóxicas que las inorgánicas.

El arsénico, una vez absorbido, se distribuye a través de la sangre por todo el cuerpo y sufre en el organismo un proceso de metilación, cambiando a una forma orgánica; puede ser eliminado en la forma de ácido dimetilarsénico, ácido monometilarsénico y arsénico inorgánico.

En los estudios de valle de Durango, los resultados de las muestras de los diferentes pozos, hay una pequeña elevación de concentración de arsénico.

Se realizaron muestras en la ciudad y valle de Durango, donde presentan las concentraciones promedio de arsénico, determinadas durante el periodo de muestreo en los pozos de la ciudad y el valle. El 59% de los pozos de la ciudad y 48% del valle tienen concentraciones mayores al 0.05 g/l recomendado por la NOM. El ámbito de concentración de arsénico en la ciudad fue de 0.028 mg/l a 0.092mg/l, mientras que en el valle fue de 0.005 mg/l a 0.167 mg/l. Para identificar los niveles de concentración, se hizo una división geográfica por zona de ciudad y del valle, obteniéndose los siguientes resultados.

En la ciudad, 21 de los 51 pozos (41%) presentan valores de concentración de arsénico inferiores a 0.05 mg/l; el resto (59%) varió de 0.05 a 0.092 miligramos por litro⁵. En la ciudad la concentración promedio se incrementa en la dirección noroeste hasta 0.069 mg/l, en la zona sur,

⁵ Vol. XVI num. 4, II Época. Octubre-Diciembre de 2001, "Ingeniería Hidráulica en México"

la concentración mostrada por llega hasta 0.039 mg/l, esta tendencia se puede explicar por el hecho de que, se encuentra clasificada como la de mayor recarga del acuífero del valle del Guadiana, por estudios geohidrológicos realizados con anterioridad.

En lo que corresponde a los pozos monitoreados en el Valle, se encontraron valores desde 0.005 hasta 0.167 mg/l. El valle se dividió en cinco zonas geográficas, en la zona norte presenta la máxima concentración de arsénico, excediendo su promedio hasta en 136 % el valor de 0.05 mg/l, la zona este excede dicho valor en un 68%. De las estaciones localizadas en el valle, 52% tienen concentraciones de arsénico menores de 0.05mg/l, mientras que el 48% restante vario desde 0.05 hasta 0.167 miligramos por litro.

Casi todos los pozos exceden el valor de 0.01 mg/l recomendado por la *NOM-127-SSA1-1994*. Y por la organización mundial de la salud, esto es de suma importancia ya que la ingestión de agua con tales concentraciones de arsénico, puede afectar seriamente la salud del ser humano.

2.4.2 Estudios en Zacatecas y San Luis Potosí

En México, se han realizado una serie de estudios mediante los cuales se han demostrado la presencia de tóxicos peligrosos para la salud. Así lo evidencia un exámen elaborado en el año 2002 por la CNA y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para la región centro norte, mediante muestreos en noventa pozos de la laguna, Zacatecas y San Luis Potosí, ya que los resultados indican que en Gómez Palacio y Lerdo, Durango, rebasó el limite máximo permisible de dureza en 38 % de los pozos, el de sulfatos en 19 %, el de manganeso en 14 % y el de arsénico en 23 %. En Zacatecas, el 40 % de estos pozos se detectaron concentraciones de fluoruros mayores a los establecidos por la norma, mientras que el 53 % supera el tope para el arsénico. Por último en San Luis Potosí se determinó la existencia de valores elevados de dureza y sulfatos en el 53 % y 50 % de los pozos analizados, respectivamente. En cuanto al arsénico el 21.8 % de ellos sobrepasaron valores tolerados por las autoridades sanitarias del país.

Zacatecas.

POZOS EN ZACATECAS

Pozo numero	pH	SDT	Dureza	Cloruros	Sulfatos	Fluoruros	Arsénico	Mercurio	Plomo	Fosfatos
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Pozo 14 SR	7.75	436	238	42.8	70.7	2.92	0.463	<0.001	<0.001	65
Pozo 16 SR	7.92	386	214	30.3	55.8	2.96	0.425	<0.001	<0.001	< 0.38
Pozo 13 SR	7.69	328	190	20.7	38.8	2.85	0.592	<0.001	<0.001	0.64
Pozo 7 Bañuelos	7.69	832	292	10.1	36.2	1.84	0.102	<0.001	<0.001	< 0.38
Ampotal	7.79	1255	659	168	242	0.627	0.028	<0.001	<0.001	< 0.38
Tacoaleche 2	8.23	331	206	11.3	36.2	1.02	0.044	<0.001	<0.001	< 0.38
Zóquite	7.91	165	593	149	419	1.02	0.051	<0.001	<0.001	< 0.38
Santa Mónica	8.01	580	387	66.9	82.4	0.919	0.057	<0.001	<0.001	< 0.38
La Fe	7.42	664	448	87.1	128	1.51	0.306	<0.001	<0.001	< 0.38
El Porvenir	6.93	558	262	48.1	75.2	1.68	0.025	<0.001	<0.001	< 0.38
Lim máx. Perm	6.5- 8.5	1000	500	250	400	1.5	0.04	0.001	0.01	nd

* Anuario IMTA2002, "Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento"

Como se muestra en el cuadro se observa que hay un incumplimiento con la NOM-127, con respecto al arsénico y al flúor. A lo que se refiere con el arsénico, se ve que de los 11 pozos estudiados 8 de ellos rebasan el límite máximo permisible y que para el 2005 solo 1 pozo cumpliría con la norma establecida. Uno de los factores de negligencia, es el funcionamiento de pozos que supuestamente se encuentran fuera de servicio por la mala calidad del agua, sin embargo se encontraron funcionando a su máxima capacidad como los Pozos 13, 14,16 de la batería de pozo San Ramón, con contenidos superiores a 0.4 mg/L de arsénico.

Seis de estos pozos rebasan el límite máximo permisible de fluoruros. En cuanto a la dureza, el 13 % de los pozos analizados rebasan el límite establecido, mientras que el 7 % de los pozos no cumplen con el límite establecido en la normatividad para sólidos disueltos y sulfatos.

San Luis Potosí

En San Luis Potosí se tomaron de los acuíferos Huizache – Metehuala y Cidral – Matehuala.

En Huzache – Matehuala, como se muestra en el siguiente cuadro los pozos analizados, de los cuales 8 de ellos rebasan el límite permisible de sólidos disueltos, de sulfatos, así como de la dureza, 5 de ellos el de florúros, 3 de arsénico y 1 en cloruros.

POZOS EN HUIZACHE - MATEHUALA.

Pozo	pH	SDT	Dureza	Cloruros	Sulfatos	Fosfatos	Floruros	Arsénico	Plomo
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Pozas Santana	8.07	624	237	42.8	135	< 0.38	0.905	0.051	< 0.01
La Verdolaga	7.65	1468	879	78.5	764	< 0.38	2.34	0.012	< 0.01
El Jicote	7.17	2972	1770	226	1644	< 0.38	3.33	0.057	< 0.01
Negritas 2	7.65	2255	521	467	633	< 0.38	1.05	0.03	< 0.01
San Juan sin Agua	7.69	1289	825	51	725	< 0.38	1.68	0.012	< 0.01
Parador	7.46	790	276	40.4	206	< 0.38	0.811	0.044	< 0.01
Charco cercado	7.66	1340	692	27.4	702	< 0.38	1.24	0.025	< 0.01
Chancaquero	8.81	1793	679	205	878	< 0.38	2.6	0.004	< 0.01
San Joé del Plan	7.52	1149	580	48.1	510	< 0.38	0.781	0.007	< 0.01
San Antonio Barrancas	8.71	537	144	29.4	134	< 0.38	0.596	0.002	< 0.01
Vallejo	8.02	2334	1653	25.5	1495	< 0.38	4.15	0.557	< 0.01
Lim. Máx. Perm	6.5 - 8.5	1000	500	250	400	< 0.38	2	0.04	< 0.01

* Anuario IMTA2002, "Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento"

POZOS EN CEDRAL - MATEHUALA, SAN LUIS POTOSÍ.

Pozo numero	pH	SDT	Dureza	Cloruros	Sulfatos	Fosfatos	Floruros	Arsénico	Mercurio	Plomo
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Pozo 20	6.96	738	548	19.7	318	< 0.38	0.621	0.003	< 0.001	< 0.01
Pozo 17	6.61	798	539	21.7	314	< 0.38	0.64	0.002	< 0.001	< 0.01
Noria Dolores	6.91	1416	864	6.26	795	< 0.38	1.76	0.004	< 0.001	< 0.01
Pozo 16	6.72	1185	747	8.66	667	< 0.38	1.26	0.003	< 0.001	< 0.01
Pozo 14	6.9	1212	786	8.18	677	< 0.38	1.28	0.003	< 0.001	< 0.01
Pozo 19	6.8	1571	902	12.5	673	< 0.38	1.36	0.004	< 0.001	< 0.01
Estanque Agua B.	7.81	2762	1673	101	1530	< 0.38	3.01	< 0.001	< 0.001	< 0.01
Hotel Palmas	6.78	3157	1653	154	1689	< 0.38	2.86	22.2	< 0.001	< 0.01
Balneario la florida	7.3	3051	1712	116	1748	< 0.38	3.43	0.529	< 0.001	< 0.01
Rancho Nuevo	8.7	2114	1498	28	1628	< 0.38	1.22	0.069	< 0.001	< 0.01
Lim. Máx. Perm	6.5 - 8.5	1000	500	250	400	< 0.38	2	0	0.01	

* Anuario IMTA2002, "Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento"

Como se puede observar el pozo, El jicote y el Vallejo, rebasan los límites de cinco de los parámetros ya mencionados anteriormente. Así los pozos Verdolaga, Chancaqueros y San Juan sin Agua, tienen la problemática de SDT, Dureza, Sulfatos y Fluoruros en elevadas concentraciones.

En lo que se refiere acuífero Cidral – Matehuala, 8 pozos son rebasados por los límites permisibles en la norma de SDT, 10 de éstos rebasan la dureza, 8 sulfatos, 4 de fluoruros, 3 de arsénico.

Los pozos, Estanque agua B, Hotel Palmas, Balneario la Florida, Rancho Nuevo comparten la mismas problemáticas ya mencionadas, pero tiene una mayor problemática el Hotel Palmas ya que contiene 22.2 mg/L de arsénico, que rebasa más de quinientas veces dicho límite. *“Esta agua no se utiliza para consumo humano, el agua del Balneario la Florida contiene 0.529 mg/L de arsénico y se utiliza para el riego del lugar, lo que genera contaminación del suelo”*.⁶

Un ensayo realizado para Zimapán, Hidalgo, da a conocer igualmente la presencia de arsénico (0.44 mg/L) y metales pesados como hierro, cromo, plomo, magnesio, mercurio y otros compuestos como lo son los orgánicos volátiles.

En Santa Ana, en Coahuila, se utiliza agua con 0.408 miligramos de arsénico por litro y en Huautla, Morelos, tanto, se han alcanzado los 0.125 mg/l, cuando lo máximo recomendable son 0.05 mg/l. por lo que son ya muchos casos de personas con cáncer en la piel debido al contacto de agua con arsénico, que se da a largo plazo⁷.

San Luis Potosí, Aguascalientes, Durango, Querétaro, Hidalgo y Zacatecas, donde el agua potable de los pozos es cada vez más profunda, esto da como resultado la concentración de flúor en las fuentes de suministro de agua que abastecen a la población. Así la excesiva ingestión de éste compuesto, por periodos prolongados han causados fluorosis dental en la población de menores de 12 años. La fluorosis dental se manifiesta a través de manchas que

⁶ Vol. XVI num. 4, II Época. Octubre-Diciembre de 2001, “Ingeniería Hidráulica en México”.

van de un color blanquecino, hasta manchas de color café oscuro y en los casos graves existe pérdida de esmalte dentario.

2.4.3. Estudios en el Puerto de Sisal Yucatán.

Se realizaron también estudios en el Puerto Sisal , Yucatán, donde solo se analizaron coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, así como la identificación de bacterias (Salmonella y Shigella), en el agua potable lo cual demuestra que a la “NOM-127-SSA1-1994”, no la toman en cuenta porque no se le tiene confianza, sino que recurren a las normas establecidas por la OMS. A pesar de que la “NOM-127-SSA1-1994”, está basada por los parámetros que rige la OMS, aun así no es de todo confiable.

El agua potable, para uso doméstico y servicios públicos en esta región proviene de los mantos freáticos o cenotes; no obstante se observó que una gran parte de esta población carece aún del vital liquido y las que disponen del servicio, son carentes y de mala calidad, que en ultima instancia se reflejan en una alta tasa de enfermedades de origen hídrico. (A las enfermedades transmitidas por el agua se le denomina “enfermedades de origen hídrico”).

Una de las consecuencias derivadas del particular origen de la Península de Yucatán, es que la identidad no cuenta con un sistema hidrológico superficial. Sin embargo hay una extensiva red de agua subterránea, estos mantos acuíferos se encuentran entre 80 y 120 m⁶ las zonas más altas entre 3 y 6m, en las bajas, lo que hace necesario es la perforación de pozos para la extracción de agua.

El puerto de Sisal, se encuentra al Norte de la ciudad de Mérida y a 55 Km., de ella. Su población en 1990 era de 6000 habitantes y un total de 450 viviendas⁷. El puerto de Sisal cuenta con servicio de agua potable desde hace más de 10 años, hay que señalar que dicho servicio hasta la fecha se encuentra en condiciones deficientes de distribución, no llegando el líquido vital a todas las casas del puerto.

⁷ La revista de saneamiento Vol. 6 Calidad Bacteriológica del agua de consumo de Puerto Sisal, Yucatán.

Las muestras se tomaron en las casas-habitación, directamente de la tubería, antes de llegar al tanque o depósito, se consideró que la gente viviera en el puerto para tener la seguridad de que el agua se utilizaría constantemente. La planta de agua potable que surte a la población se encuentra aproximadamente a 6 Km., de ésta, por lo que el agua suministrada a la población recorre una distancia considerable, a lo cual hay que añadirle el mal estado en que se encuentra la mayoría de los tubos del sistema de abastecimiento de la población.

Todos los resultados obtenidos, se compararon con las normas establecidas por la Organización mundial de la Salud. (O.M.S), para determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de las aguas aptas para consumo humano.

Estrato	Parámetro							
	pH	T°	SAL	C.E	CLR	C.T	C.F.	S.E
Ciénega	7.2	28	0	1355	0	253	243	0
Parte Media	7.1	29.5	0.04	1377	0	712	677	473
Playa	7.1	29	0.02	1414	0	236	218	108
Pozo	7.3	29	0.96	3205	0	8576	6353	1818

pH: Potencial de Hidrógeno (Unidades de pH)

C.E: Conductividad (Micromhos/centímetros)

T: Temperatura(°C)

Sal: Salinidad (mg/l).

CLR: Cloro residual (mg/l)

C.T.: Coliformes Totales (Col/100 ml)

C.F: Coliformes Fecales (col/100ml)

S.F.: Streptococos Fecales (Col/100 ml)

* Vol 6 No81 julio, Revista de Saneamiento Ambiental en México pp17.

Todos estos análisis, dan como resultado la deficiente evaluación del manejo del monitoreo del agua potable, afectando así la salud del ser humano por el mal cumplimiento de la calidad del vital líquido, sólo se concentran en las zonas urbanas con sistemas de potabilización y analizan parámetros como, conductividad, dureza, sólidos disueltos, fosfatos, cloruros, sulfatos, arsénico, fluoruros, magnesio, plomo y mercurio. Y no ponen mucha atención a zonas rurales, que no cuentan una infraestructura como las ciudades.

A pesar del establecimiento de la norma, no existe un programa nacional de verificación que fiscalice su cumplimiento. Por tal motivo, se estima que cerca de un millón de mexicanos estén expuestos, a la mala calidad del agua potable, como ya se pudo observar que en el norte del país es donde se encuentra un mayor incumplimiento de la “*NOM-127-SSA1-1994*”.

El control de la calidad del agua debe enfocarse primeramente, a establecer las medidas preventivas para que no representen un riesgo a la salud. Una vez cumplido el requisito de mejorar las características de calidad, se podrá satisfacer los requerimientos de aceptación por parte de los consumidores.

En casi todos los países se tienen una legislación con las aguas de consumo humano, que sirven para determinar la responsabilidad de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable, en su control y monitoreo. Así mismo cada país cuenta con un reglamento propio, pero tomando en cuenta la confección y actualización periódica de las normas nacionales, las guías de la organización mundial de la Salud (OMS), la calidad del agua potable. Las guías son documentos que se producen en versiones actualizadas, aproximadamente cada 12 años, a partir del trabajo mancomunado de cientos de expertos de decenas de países, quienes recogen la última información disponible en el mundo sobre el tema.

El agua distribuida en los estados Unidos de América tiene mejor control de la región, a pesar de que son líderes en el control de calidad, existe preocupación por la población que pueden estar expuesta a contaminantes químicos, tóxicos o biológicos. Sobre la posibilidad de la presencia en el agua de dichas sustancias no consideradas en la norma de calidad de agua potable, pueden estar algunos compuestos orgánicos, incluyendo los sintéticos, subproductos de la desinfección.

Para los Estados Unidos, hay estándares de agua potable que se dividen en primarios y secundarios, los Primary National Drinking Water Standards, (estándares nacionales primarios del agua potable) Comprende 30 parámetros que son considerados potencialmente nocivos para la salud. Los Secondary national Drinking Water Standards, (estándares nacionales secundarios del agua potable), están destinados a proteger el bienestar público y no la salud pública, no se consideran que estos parámetros sean una amenaza para la salud pública, sino que son más

concernientes con factores estéticos totales como el sabor, olor y color, son 13 parámetros enumerados.

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tiene el plan estratégico (Strategic Plan Goal No 2 "Clean Safe Water"), que prevé que para el 2005 el 95 % de la población servida por sistemas de agua comunales, reciba agua que cumpla con las Normas de Agua Potable del país (en 1994 la meta era un 84%). La USEPA tiene previsto incorporar, para un futuro, diez nuevos contaminantes de alto riesgo en su programa de control de la calidad del agua, entre ellos subproductos de la desinfección, arsénico y radón.

Ya que tienen una tecnología mucho más avanzada que en México, es posible determinar los parámetros más nocivos para la salud. Así los parámetros establecidos en la NOM, son con base a las guías de la OMS, así como de algunos estudios que han realizado la EPA.

Relación de la normatividad mexicana con otras legislaciones en materia de agua potable.

RESUMEN COMPARATIVO DE LOS ESTÁNDARES PARA EL AGUA POTABLE DE DIVERSOS PAÍSES, mg/L

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	E.U.S	CANADA	O.M.S	COMUNIDAD EUROPEA	ESPAÑA	FRANCIA	BELGICA	ITALIA	RUSIA
Alcalinidad total (como CaCO ₃)	400	-	-	-		-	-	-	-	
Aluminio	0.2	-	-	-	0.2	Tolerado	-	0.1	-	-
Arsénico	0.025	0.05	0.05	0.01	0.05	0.2	5	0.05	0	-
Bario	0.7	1	1	0.7	0.1	-	-	0.01	-	-
Cadmio	0.005	0.01	0.005	0.003	0.005	-	0.005	0.01	0	0.001
Cianuro (CN-)	0.07	-	-	0.07	-	0.01	0.05	0.01	0	0.01
Cloro libre en agua clorada	0.2-1.50	-	-	-		0.1	-	-	-	
Cloro libre en agua sobreclorada	1	-	-	-		-	-	-	-	
Cobre	2	Reglamento	-	-	0.1	1.5	0.05	1	-	-
Cromo hexavalente	0.005	0.05	0.05	0.05	0.005	0.05	0.05	0.05	0	0.1/0.5 (1)
Demanda biológica de Oxígeno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Dureza de calcio (CaCO ₃)	500	-	-	-	-	0.001	0.001	0.001	-	-
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3	-	-	0.002	0.5	0.2-0.3	0.1	0.3	0.5	1
Hierro	0.3	0.3	-	1.5	0.3	-	-	-	-	0.5
Fluoruros (F-)	1.5	4	1.5	0.5	1.5-0.7 (2)	60-100	-	150		1.5
Magnesio	125	-	-	0.001	0.5	1.5 (Fe+Mn)	0.05	0.1	160	-
Manganeso	0.15	0.05	-	11.3	0.001	-	0.001	-	0.2	0.0005
Mercurio total	0.001	0.002	0.001	0.9	10	-	-	-	0	10
Nitratos (N-)	10	10	10	-	0.1	-	-	-	-	1
Nitritos(N-)	1	-	-	-		-	-	-	-	
Nitrógeno Proteico	-	-	-			-	-	-	-	
Oxígeno consumido en medio ácido	3	-	-			-	-	-	-	
Plomo	0.01	Reglamento	0.05		0.05	0.1	0.05	0.05	0	
Selenio	-	0.01	0.01		0.01	0.05	0.01	-	0	

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	E.U.S	CANADA	O.M.S	COMUNIDAD EUROPEA	ESPAÑA	FRANCIA	BELGICA	ITALIA	RUSIA
Sulfatos(SO42)	400	250	-	400	25 (3)	200-400	250	250	100	500
Zinc	5	5	2		0.1-3	1.5	-	5	-	
Sus. Activas al azul de metileno	0.5	-	-	-	0.5	-	0-0.05	-	-	0.5
Carbón extractable en cloroformo	0.3	-	-	-		-	-	2.5	-	
Carbón extractable en alcohol	1.5	-	-	-		-	-	-	-	
Coliformes Totales (NMP/100ml)	ausencia	<1.0	10	0	0	-	0	-	-	-
Coliformes fecales (NMP/100ml)	ausencia	-	0	0	0	0-2	-	0	-	
pH	6.5-8.6	6.5-8.5	-	-	6.5-8.5	7-9.2	7-8.5	6.5	7-8.3	-
Color (Pt-Co)	20	15	15		20	5-15	5	-	-	
Turbiedad	5	Reglamento	5		4 JTU	5-10	5	-	-	
Plata	-	0.05	0.05	-		-	-	-	-	
2,4 D	50 µg/L	0.1	0.1	0.03		-	-	-	-	
Endrín	-	0.0002	0.0002	0.03		-	-	-	-	
Lindano	2µg/L	0.0004	0.004	0.002		-	-	-	-	
Metoxicloro	20µg/L	0.1	0.1	0.02		-	-	-	-	
Pesticidas totales	-	-	0.1		0.5	-	-	-	-	-
Toxafeno	-	0.005	0.005			-	-	-	-	
2,4,5 TP silvex	-	0.01	0.01			-	-	-	-	
Trihalometanos	0.2	0.1	0.35	0.046 (a)		-	-	-	-	
Partículas B y act. Fotónica (mrem)	-	4	-	1.0 (b)		-	30	100	-	
Partículas A (pCL/l)	0.1	15	-	1.0 (b)		-	3	-	-	
Radio 226-228 (pCL/l)	-	5	1.0 (b)	-		-	-	-	-	
Benceno	10µg/L	0.005	-	0.01		-	-	-	-	
Tetracloruro de carbono	-	0.005	-	0.02		-	-	-	-	

PARAMETRO REGULADO	MEXICO	E.U.S	CANADA	O.M.S	COMUNIDAD EUROPEA	ESPAÑA	FRANCIA	BELGICA	ITALIA	RUSIA
1,1,dicloroetileno	-	0.007	-	0.03		-	-	-	-	
1,2 dicloroetano	-	0.005	-	0.05		-	-	-	-	
p-diclorobenceno	-	0.075	-	0.3		-	-	-	-	
1,1,1 tricloroetano	-	0.2	-	2		-	-	-	-	
Tricloroetileno	-	0.005	-	0.07		-	-	-	-	
Cloruro de vinilo	-	0.002	-	0.005		-	-	-	-	
Cloruros Cl-	250		250			250-350	200-600	1,000	35	

(a): sólo cloroformo (b): Bq/L

Nota: Las unidades de los parámetros están en mg/L, a menos que se especifique alguna otra

(1) Cromo Cr(III) y Cr (IV) (2): en función de la Temperatura (3): Valor guía

CAPITULO III

ANÁLISIS DE OPERACIÓN DE AGUA POTABLE.

El tratamiento del agua tiene por objeto fundamental mejorar la calidad, física, química y bacteriológica del agua proveniente de las diferentes fuentes naturales, a fin de entregarla al consumidor apta, inocua y aprovechable para el hombre. Hay tres clases principales de proceso.

Proceso físicos

Depende esencialmente de las propiedades físicas de la impureza, como el tamaño de la partícula ejemplos de este proceso son:

- Cribado
- Sedimentación
- Filtrado

Procesos químicos

Dependen de la propiedad química de una impureza que utiliza las propiedades químicas de reactivos agregados, algunos procesos químicos son:

- Coagulación
- Intercambio iónico.
- Procesos biológicos

Se utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloides, normalmente sustancias orgánicas. Los procesos biológicos incluyen filtrado biológico, y oxidación anaerobia.

Para el diseño de una planta de tratamiento depende de las propiedades del agua. Así como el caudal que se tiene ya que se necesitan medidores de flujo.

3.1 Medidores de flujo

Para la medición del flujo de agua podrán ser utilizados cualquiera de los siguientes instrumentos:

- Tubo de pitot.
- Orificios.
- Venturi.
- Vertedores.
- Canal parshall.

3.1.2 Tubo Venturimetro.

Es un tipo de boquilla especial, seguida de un cono que se ensancha gradualmente, accesorio que evita en gran parte la pérdida de energía cinética debido al rozamiento. Es por principio un medidor de área constante y de caída de presión variable. En la figura se representa esquemáticamente un medidor tipo Venturí.

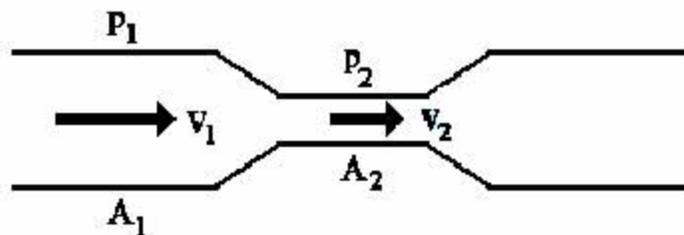


Figura 3.1.2.1 modelo del tubo venturi

El tubo "Venturi" es el elemento primario del instrumento de flujo colocado en la línea para medir una presión diferencial relacionada al flujo.

El tubo del medidor está colocado en la línea de tubería tal como un tubo ordinario, el cono menor formando el extremo de entrada o de flujo de arriba. El tubo mismo está hecho de varias secciones, variando el número de ellas según el tamaño del tubo. Cada sección tiene una rosca en la orilla de la brida para permitir un alineamiento exacto. El tubo puede instalarse en cualquier posición: horizontal, vertical o inclinada.

El tubo "Venturi" debe introducirse en un tramo recto de la línea de tubería y tan lejano, hacia abajo como sea posible. En tuberías horizontales e inclinadas, las conexiones de presión para la tubería desde el tubo "Venturi" al instrumento, deben hacerse como:

En instalaciones para gas, a la parte superior del tubo, para líquidos, a un lado del tubo, y en instalaciones para vapor. En tubos verticales, las conexiones de presión pueden hacerse a cualquier lado del tubo.

3.1.3 Medidor de Orificio.

El medidor de Orificio es un elemento más simple, consiste en un agujero cortado en el centro de una placa intercalada en la tubería. El paso del fluido a través del orificio, cuya área es constante y menor que la sección transversal del conducto cerrado, se realiza con un aumento apreciable de la velocidad (energía cinética) a expensa de una disminución de la presión estática (caída de presión). Por esta razón se le clasifica como un medidor de área constante y caída de presión variable.

Con las placas de orificio se produce la mayor pérdida de presión en comparación a los demás medidores. Así tenemos que, con las tomas de presión $2\frac{1}{2}$ y 8 diámetros antes y después de la placa se está midiendo la pérdida total de presión sin recuperación posterior.

Se mide la máxima diferencial posible con recuperación de presión posterior, con tomas en la brida se mide una diferencial muy cerca de la máxima, también con recuperación de presión posterior.

La exacta localización de las tomas de presión antes de la placa carece relativamente de importancia, ya que la presión en esa sección es constante. En todas las relaciones de D/d comerciales. De $\frac{1}{2} D$ antes de la placa en adelante hasta la placa, la presión aumenta gradualmente en apreciable magnitud en relaciones d/D arriba de 0.5, debajo de este valor la diferencia de presiones es despreciable. Pero si en la toma de alta presión la localización no es de mayor importancia, si lo es en baja presión, ya que existe una región muy inestable después de la vena contracta que deberá ser evitada, esta es la razón por la que se recomienda para tuberías menores de 2 pulgadas las

tomas de placa. La estabilidad es restaurada a 8 diámetros después de la placa pero ya en este punto las presiones son afectadas por una rugosidad anormal en la tubería.

La pérdida de presión provocada por una boquilla está muy cercana a la placa de orificio por lo que en su selección no deberá ser considerada como una ventaja sobre la placa. Sus tomas de presión se tienen que localizar en la tubería $1D + 0.1D$, antes $0.5 D + 0.1D$ después de la entrada de la boquilla.

3.1.4. Tubo de Pitot.

Es uno de los medidores más exactos para medir la velocidad de un fluido dentro de una tubería. El equipo consta de un tubo cuya abertura está dirigida hacia arriba, de modo que el fluido penetre dentro de ésta y suba hasta que la presión aumente lo suficiente dentro del mismo y equilibre el impacto producido por la velocidad. El Tubo de Pitot mide las presiones dinámicas y con ésta se puede encontrar la velocidad del fluido, hay que anotar que con este equipo se puede verificar la variación de la velocidad del fluido con respecto al radio de la tubería (perfil de velocidad del fluido dentro de la tubería).

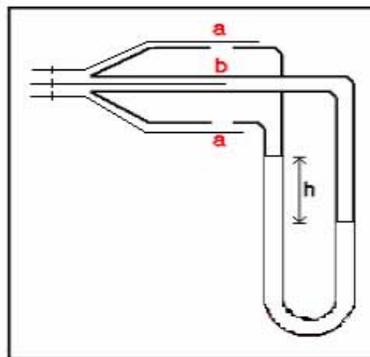


Figura 3.2.4.1 tubo pitot

Se usan generalmente en líneas mayores de 15.24 cm y para una amplia variedad de fluidos.

El tubo Pitot consiste en un tubo de diámetro pequeño (63.5 mm) con una abertura hacia la corriente del fluido. La presión desarrollada en este punto es la presión al

impacto causada al detener el movimiento del fluido y se compara contra la presión estática existente en la línea.

Un segundo dispositivo, colocado a 90° con respecto a la dirección del fluido, mide únicamente la presión estática. Midiendo la presión diferencial entre los dos dispositivos, se tendrá una indicación de la velocidad del fluido en la línea.

Los tubos pitot son instrumentos de medición de velocidad y a causa de su pequeña área, la velocidad medida es la de ese punto específico y no la velocidad promedio en la sección transversal del tubo.

Las consideraciones que se deben de tomar son:

- Tener un diámetro mínimo en el ducto de **10.2 cm**.
- Efectuar varias mediciones a través del ducto y promediar las lecturas.
- Asegurarse de un flujo recto, teniendo por lo menos 10 diámetros de tubo recto antes y después del tubo pitot o instalar mamparas directrices corriente arriba del tubo.

Si las condiciones no permiten la instalación, entonces instalar el tubo pitot en el centro del ducto y multiplicar la velocidad obtenida por **0.9**.

En ductos o tuberías muy grandes, la deflexión de la guía de soporte del tubo pitot puede causar serios errores.

3.1.5. Vertedores

Los vertedores ampliamente utilizados para medir los caudales circulantes en los canales. Son estructuras en las que se tienen descargas a superficie libre, las cuales se pueden efectuar por encima de un muro o una placa; éste puede presentar diferentes formas según las finalidades a las que se destine. Cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se denomina de

pared delgada. Mientras que los de pared gruesa se tienen cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es en toda la superficie.

Los vertedores de pared delgada sin contracción lateral (Figura 3.2.5.11 a) son recomendables siempre que se respeten además de los límites de aplicación de las fórmulas, las siguientes condiciones:

- El canal que recibe el vertedor debe tener las paredes verticales y lisas, mientras que la longitud del labio del vertedor debe ser igual al ancho del cauce.
- El plano del vertedor debe ser normal al flujo y la cara aguas arriba, perfectamente vertical, plana y lisa.
- La cresta del vertedor debe ser horizontal, con un espesor no mayor de 2 mm en bisel y la altura desde el fondo del canal (p) de $0,30 \text{ m} \leq p \leq 2h$ ¹²

El vertedor deberá instalarse al centro de un canal recto que tenga longitud mínima de diez veces la longitud de cresta del vertedor y un área de, por lo menos, $8b_c h$.

Si el vertedor tiene contracciones (Figura No. 3.2.5.1 b y c), la distancia entre los extremos del vertedor y el costado del canal no debe ser menor que 0,30 m. Si no tiene contracciones debe hacerse una ventilación eficiente de la superficie inferior de la lámina vertiente.

La ecuación para un vertedor rectangular sin contracciones es:

$$Q = 1,84 b_c h_1^{1,5} \dots\dots\dots(\text{Ec.3.2.5.1})$$

En tanto la ecuación para un vertedor con contracciones es:

² CNA, Comisión Nacional del Agua.

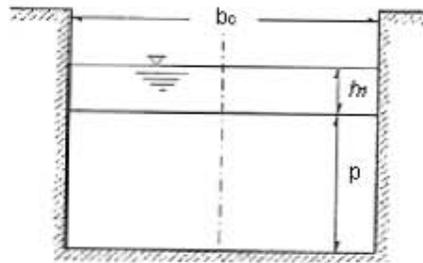
$$Q = 1,84(b_c - 0,2 h_1)h_1^{1,5} \dots\dots\dots(\text{Ec.3.2.5.2})$$

Donde:

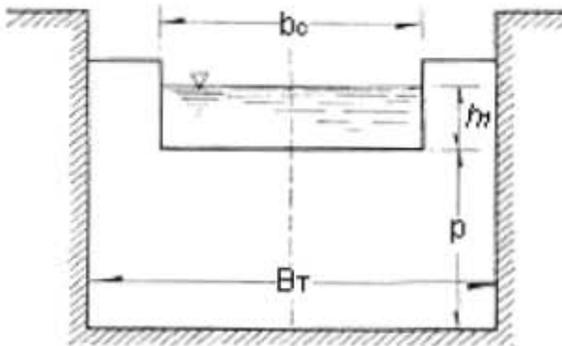
Q : Caudal en l/s

bc: Longitud de la cresta en cm.

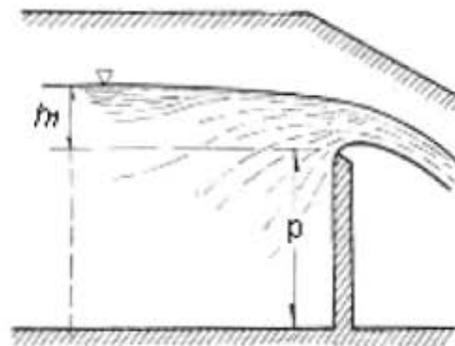
h1: Carga hidráulica sobre la cresta del vertedor en cm.



a) Sección transversal



b) Sección transversal



c) Elevación

Figura 3.2.5.1 Secciones de un vertedor rectangular: a) sin contracción lateral; b) y c) con contracción lateral

3.1.6. Canales Parshall

El canal parshall es una estructura hidráulica, también conocidos como medidores de régimen crítico que pueden consistir de un simple estrangulamiento adecuado a una sección, consta de cuatro partes, una transición de entrada un tramo que va estrechándose, sección convergente, otro tramo recto llamado garganta y otro tramo que se vuelve a abrir en la salida llamada sección divergente, como se puede ver en la figura 3.2.6.1

El medidor Parshall fue ideado teniendo como objetivo principal la irrigación: los de tamaños menores, para regular la descarga de agua distribuida a las propiedades agrícolas y los mayores, para ser aplicados a los grandes canales de riego. Pero dadas las ventajas del medidor, las aplicaciones actuales son innumerables habiéndose generalizado su empleo:

- Control de la velocidad, en los desarenadores de las estaciones de potabilización de aguas.
- Funciones de medidor junto con las de un dispositivo de mezcla rápida: dispersión de coagulantes en tratamiento de agua.
- Medición de caudal, tan necesaria en servicios de abastecimiento de agua, en canales principales, estaciones de tratamiento, entradas en depósitos, etc.

Condiciones de descarga

El flujo a través de un medidor Parshall se puede verificar en dos condiciones diferentes, que corresponden a dos regímenes distintos:

- Flujo o descarga libre;
- Ahogamiento

En el primer caso, la descarga se hace libremente como en los vertedores. En que la vena vertiente es independiente de las condiciones de aguas abajo. Mientras que el segundo caso ocurre cuando el nivel de aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor: es el régimen comúnmente señalado como descarga sumergida de características diferentes de aquellas que se emplean para los vertedores. Para este segundo caso sería adecuada la utilización de un canal Venturi.

El ahogamiento es causado por condiciones de aguas abajo, por obstáculos existentes, falta de declive o niveles obligados en tramos o unidades subsecuentes. Mientras que en el caso de flujo libre es suficiente medir la carga o tirante en la sección de medición (H_a) para determinarse el caudal. Si el medidor es ahogado, será necesario medirse también, una segunda carga o tirante en un punto próximo a la sección final de la garganta o antes del salto (H_b).

La relación H_b/H_a constituye la razón de la sumergencia. Si el valor de H_b/H_a es igual o inferior a 0,60 (60%) para los Parshall de 3,6 ó 9 pulgadas³, o igual o inferior a 0,70 (70%) para los medidores de 1 a 8 pies, la descarga será libre. Si estos límites se exceden habrá ahogamiento y el gasto será reducido, siendo necesario medir las dos alturas para calcular el caudal. La descarga real será inferior a la obtenida por la fórmula, siendo indispensable aplicar una corrección negativa.

Cuando el Parshall es seguido de un canal o de una unidad de tratamiento en que se conoce el nivel del agua, la verificación del régimen de flujo en el medidor es inmediata, basta calcular la sumergencia (razón H_b/H_a). En la práctica, siempre que sea posible se tratará de tener la descarga libre, por el hecho de quedar restringido a una medición de carga única. A veces esa condición no puede ser conseguida o establecida debido a circunstancias locales o a limitaciones impuestas.

Con la descarga libre, la única medida de carga H necesaria y suficiente para conocer el caudal es hecha en la sección convergente, en un punto localizado a $2/3$ de la dimensión B (o $2/3$ de A). En esta posición se puede medir el tirante del agua con una

³ CNA, Comisión Nacional del Agua.

regla o se instala junto a la pared una escala para las lecturas. Se puede también colocar un tubo de 1 a 2 pulgadas comunicando el nivel del agua a un pozo lateral de medición. Los pozos laterales de medición generalmente son de sección circular con diámetro igual a $W+0,15m$.

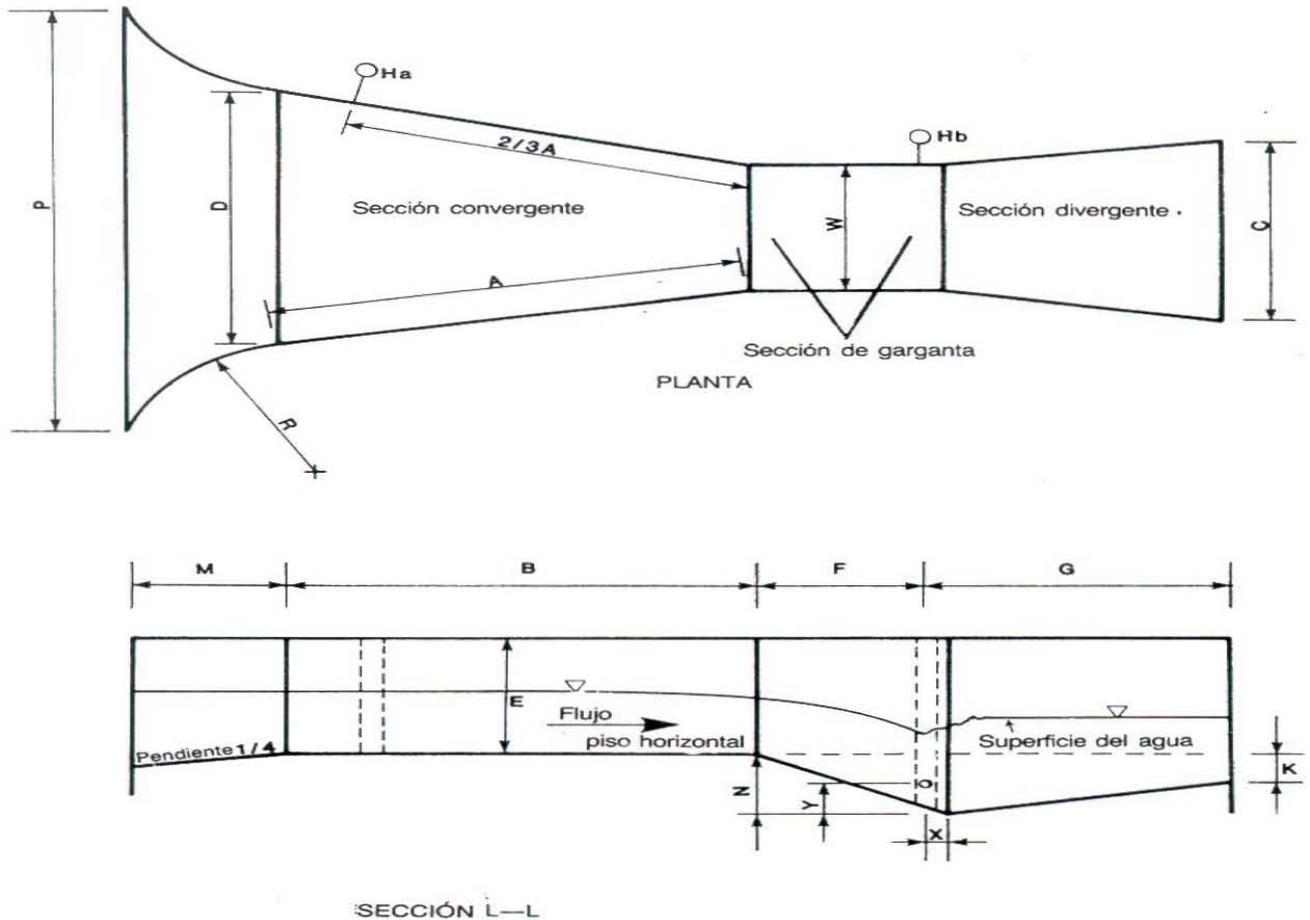


Figura 3.2.6.1 Canal Parshall, plana y perfil

3.2 Coagulación y Floculación

El objetivo de la coagulación es facilitar o hacer posible la sedimentación de partícula finamente divididas o al estado coloidal, mediante el agregado de sustancias químicas.

La coagulación y la floculación se realizan en dos etapas. En la primera, las fuerzas interpartícula, responsables de la estabilidad de los coloides, son reducidas o anuladas

por la adición de los reactivos apropiados, en la segunda las colisiones entre las partículas favorecen la formación de flóculos grandes. En la primera etapa se realiza un mezclado rápido para dispersar el coagulante y favorecer el contacto con el agua. En la segunda, se efectúa una mezcla lenta con la finalidad de promover la formación y el aumento de tamaño o densidad de los flóculos, los cuales son eliminados del agua por medios físicos como la sedimentación o filtración.

El tamaño de la partícula está alrededor de 50 μm o más. La fracción comprendida entre 1 μm y 1 $\text{m}\mu$, (0.000001 mm)⁴, constituye la materia coloidal, con una velocidad de sedimentación, por lo que es necesario recurrir a la coagulación-floculación. Las partículas inferiores a 0.5 $\text{m}\mu$ se considera como material disuelto.

3.2.1. Prueba de jarras

Las pruebas de jarras sirven para determinar si un efluente puede ser tratado de manera rentable y con la eficiencia deseada mediante tratamiento de floculación-coagulación. En la cual consiste en una serie de vasos (seis), donde se coloca el agua que se va a analizar, al agua problema se determinara el color , pH, turbidez, para poder comparar los resultados después de haber realizado la prueba, una vez colocados los vasos en el sistema de agitación con una alícuota de 1 litro de agua problema, se le agrega una dosis del coagulante que se utilizará en el tratamiento de agua en la planta, se tendrá una agitación rápida para la formación del coágulo y después una agitación lenta para la formación del floc, en cual se podrá determinar si el coagulante es adecuado para las condiciones que se requiera, ya sedimentado el flóculo se tomará nuevamente los parámetros ya mencionados del agua decantada, se comparará con las pruebas y si es satisfactorio el resultado se tendrá la dosificación de dicho coagulante, si la prueba no es satisfactoria se realizará nuevamente hasta que sea satisfactorio.

⁴ Opazo Francisco, "Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y salud publica"

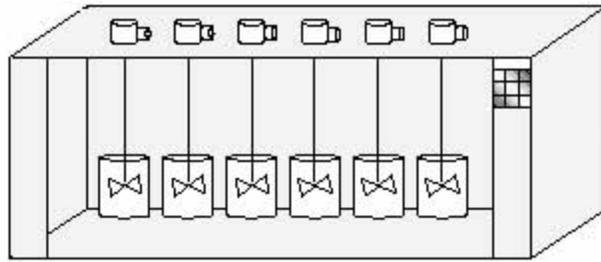


Figura 3.2.1.1 Prueba de Jarras

En la Unidad de difusión tiene como objetivo fundamental originar una agitación violenta del agua, a fin de producir la dispersión de las sustancias químicas agregadas. El tiempo requerido para esta agitación es corto, del orden de un minuto, siempre que la turbulencia sea suficiente. La velocidad mínima debe ser 1.50 m/seg. Cuando esta turbulencia no se realiza por dispositivos propios de la planta, tales como bombas de agua cruda o canales, es necesario disponer de estructuras o cámaras especiales.

- Tanques o canales con desviadores o tabiques.
- Resalto hidráulico.
- Estanque de flujo tangencial.
- Estructura de agitación mecánica.
- Estanques de agitación por aire.

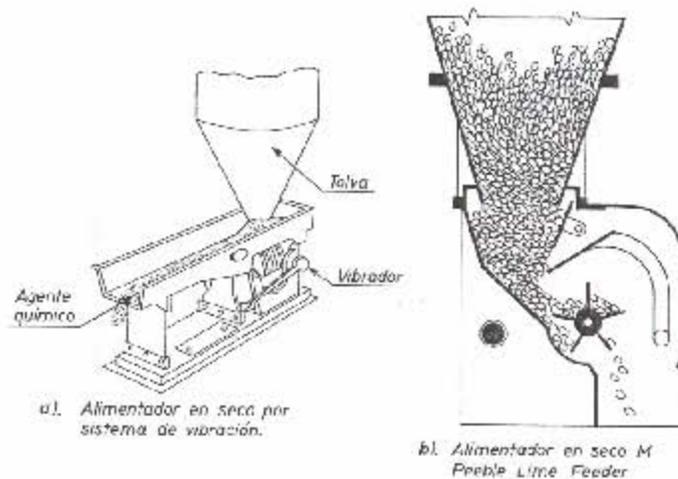


Figura 3.2.1.2 muestra de algunos dosificadores de sustancias químicas.

Después de la sustancia química ha sido uniformemente difundida en la masa de agua a través de una agitación violenta, se requiere un periodo de acondicionamiento, con el fin de que los microfloculos formados puedan aumentar de tamaño. Esto se consigue por medio de una agitación suave del agua tendente a que las partículas entren en contacto y se adhieran unas a otras, dando origen al floculo sedimentable. Lo ideal para la formación del floculo es una agitación moderada continua decreciente, ya que el floculo se hace más frágil a medida que crece. La velocidad óptima debe variar entre 0.15 y 0.40 m/seg.⁵.

Los canales con desviadores o tabiques son estructuras que obligan a la corriente de agua a cambios de diferenciación, ya sea vertical u horizontal y produce la agitación deseada. La experiencia indica que la velocidad óptima para la floculación en este tipo de unidades varía de 0.30 a 0.40 m/seg² y se estima que los floculadores mecánicos deben diseñarse para velocidades tangenciales. La coagulación entre otros factores, es función de la velocidad y del tiempo de agitación, se estima que periodos de 10 a 45 minutos sea un buen término medio. Se han obtenido buenos resultados con velocidad que varía de 0.15 a 0.45 m/seg. con periodo de floculación de 15 a 45 minutos

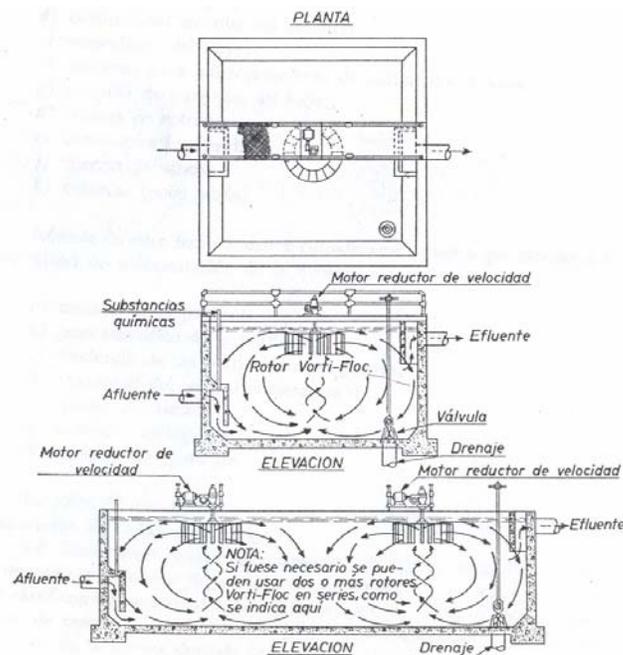


Figura 3.2.1.3 coagulador

⁵ Opazo Francisco, "Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y salud publica"

3.2.2. Mezcladores Mecánicos.

La agitación mecánica es el método más común para la mezcla rápida ya que es muy eficaz y flexible en operación. Los mezcladores rápidos por lo general se emplean el eje vertical, puesto que son impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina.

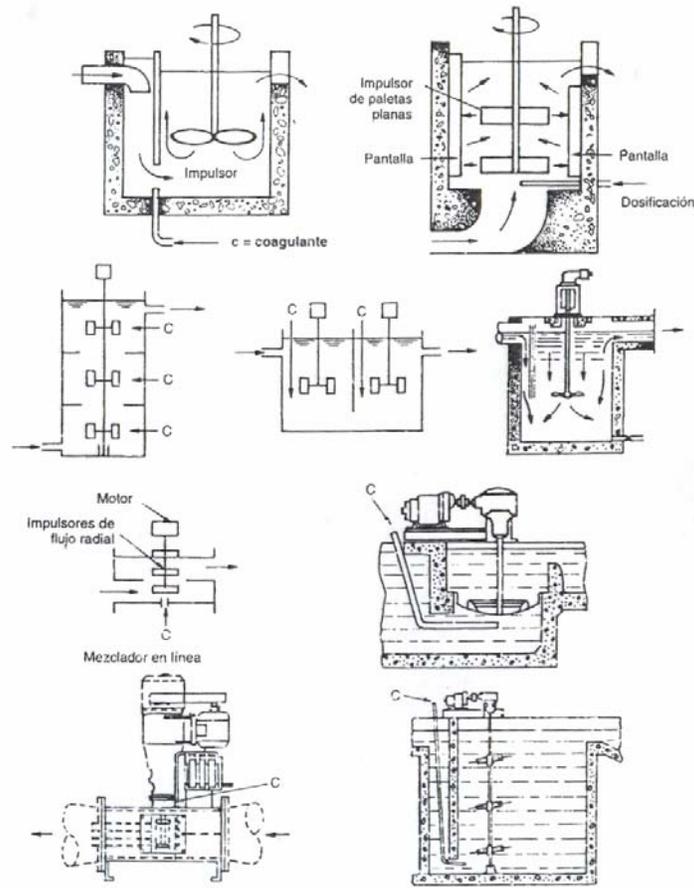


Figura. 3.2.2.1 Tipos de mezcladores Mecánicos

Los de hélice generan corrientes axiales fuertes que generan una velocidad de 2,000 rpm⁶. Los impulsores de paleta generan corrientes radiales y tangenciales.

Los de turbina consisten en varias paletas rectas montadas verticalmente sobre una placa o paleta curva.

⁶ Gray, Nick "Calidad del agua Potable problemas y soluciones". Zaragoza España 1996

Los impulsores de flujo radial del agua, descarga desde el impulsor a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje, cuando hay un flujo axial el agua entran al impulsor y es descargado desde él, en forma paralela a su eje fig. 3.2.2.1 y 3.2.2.2.

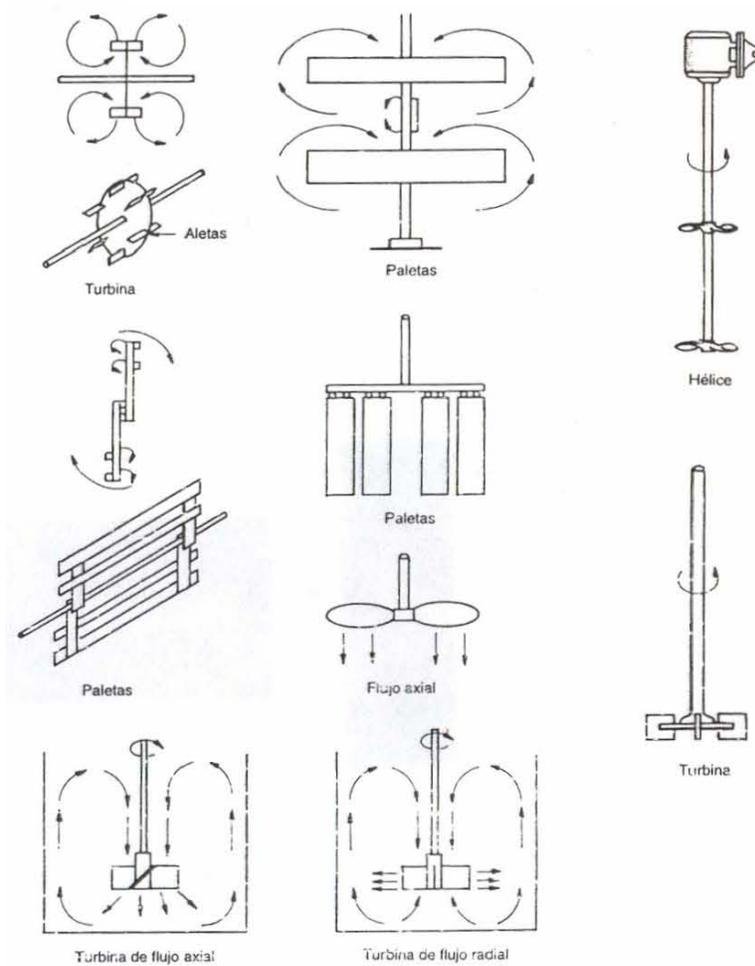
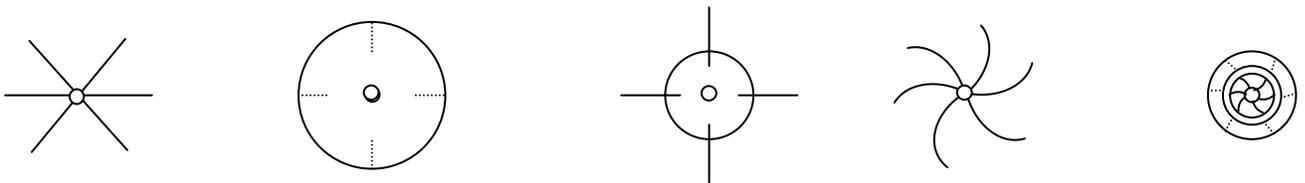
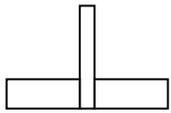


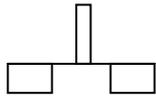
Figura 3.2.2.2 Tipo de hélice



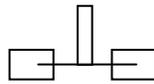
Vista plana



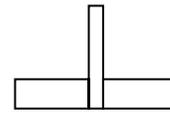
Paleta lisa



Aspa de disco



Aspa de disco



Paleta

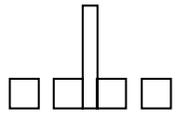


Figura 3.2.2.3 Tienen forma de láminas lisas, disco de aspa, paleta curva, o paleta cubierta curva con un difusor liso.

El diámetro del impulsor es usualmente del 30 a 50 por ciento del diámetro a lo ancho del tanque, y el impulsor por lo general es montado un diámetro de impulsor encima del tanque inferior. La gama de velocidades de 10 a 150⁷ revoluciones por minuto, y el flujo es radialmente externa de la turbina. Esto se divide en la pared de tanque.

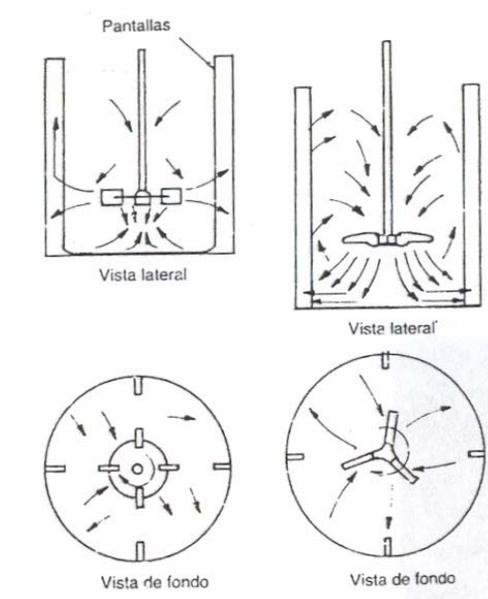


Figura 3.2.2.4

⁷ Reynolds Tom D. "Unit operation and processes in environmental engineering".

Los tipos de cámaras rápidas-mezcladores o de tabique son mostrados en la Figura 3.2.2.5

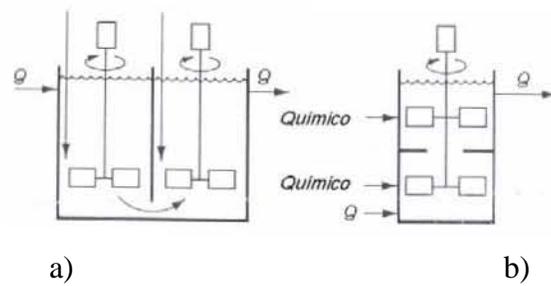


Figura 3.2.2.5

3.2.3. Mezcladores Rápidos Hidráulicos

Se utilizan resaltos hidráulicos, canales parshall, tubos venturi, tanques con tabiques o mamparas, para disipar energía en turbulencia.

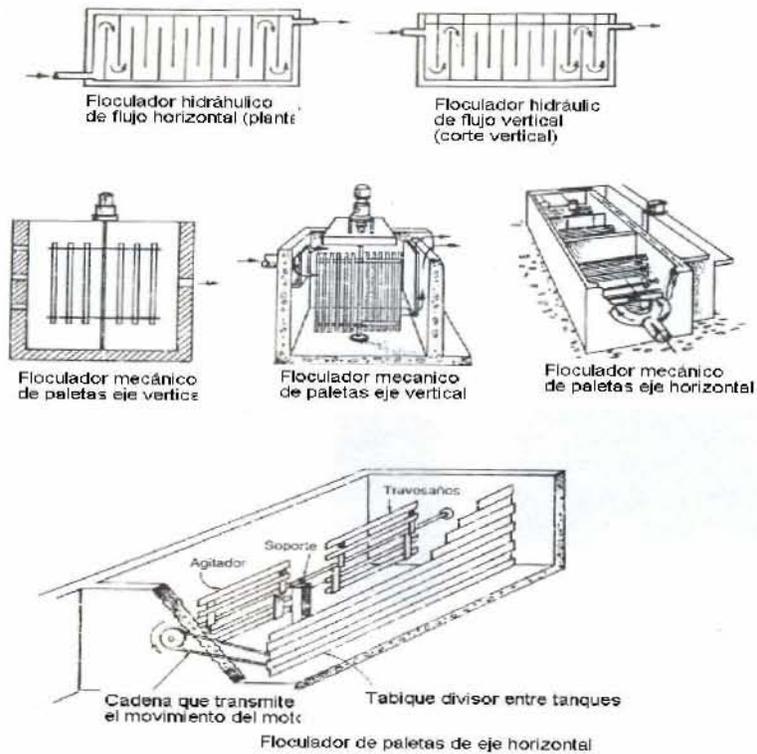


Figura 3.2.3.1 Tipo de Mezcladores rápidos.

Esto se da en flujo horizontal o vertical, el flujo horizontal consiste en un tanque dividido por tabiques, o pantallas de concreto de tal forma que el agua haga un recorrido alrededor de los extremos libres de los tabiques.

El flujo vertical del agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques.

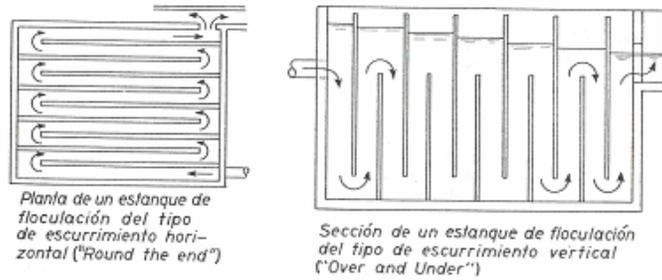


Figura 3.2.3.2 Estanques de floculación con desviadores.

Algunos de estos equipos son para minimizar la circulación, que son divididos por tabiques.

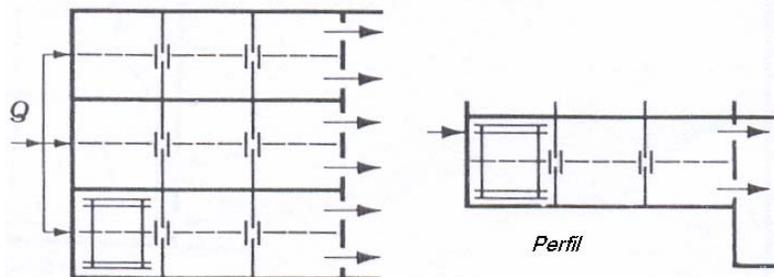


Figura 3.2.3.3

3.3. Sedimentación

Es un proceso de separación sólido-líquido en la cual la fuerza que interactúa, es la de gravedad, las partículas tienen a sedimentar o a flotar de forma espontánea dependiendo de su densidad ya sea mayor o menor que la del agua, la función principal consiste en la eliminación de la materia suspendida decantable, produciendo que el agua sea clara.

3.3.1. Tanques.

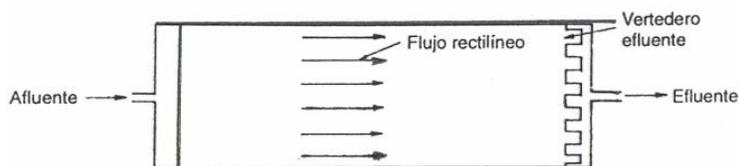
Los tanques de sedimentación pueden variar de tamaño, éstos pueden ser pequeños, una simple excavación en el terreno para colocarlos, o tan grandes como una estructura de varios pisos de acero u hormigón. Pueden tener la forma de tanques rectangulares estrechos y largos, tanques cuadrados o circulares, la geometría del tanque es importante ya que el rendimiento está relacionado con sus partes componentes.

Existe una variedad de tamaños de tanques de sedimentación, la profundidad del tanque puede oscilar entre 2.13 y 4.56 m, siendo la profundidad más común 2.43 y 3.65 m^{16*}, los factores que influyen en la profundidad son las características del lodo acumulado, capacidad requerida y el costo. Los tanques circulares pueden variar de 4.5m a 91.4 m de diámetro y 1.8 m a 4.8 m de profundidad, el más común va de 10.6 a 45.7 m de diámetro y 3 a 4.26 m de profundidad, los tanques cuadrados van 10.6 a 60.9 y 1.8 a 5.7m¹⁶ de profundidad, para los tanques rectangulares 3 a 36.5 m de largo. Las pendientes del fondo oscilan entre 1% por tanque rectangular y 7% por tanque circulario.

El tanque más comúnmente empleado es el rectangular de hormigón, lo fundamental en este tipo como en cualquier otro, tiende a que el escurrimiento se haga a una velocidad uniforme con un periodo de retención suficiente para que los flóculos puedan sedimentar.

En cuanto al periodo de retención que debe tener el agua en el tanque bien diseñado se puede pensar en un periodo de retención de dos a cuatro horas, o tres como termino medio, para lograr una sedimentación satisfactoria.

En los tanques rectangulares, el flujo va esencialmente en una dirección, paralelo a la longitud del estanque y es llamado flujo rectilíneo



^{8*} Reynolds Tom D. "Unit operation and processes in environmental engineering".

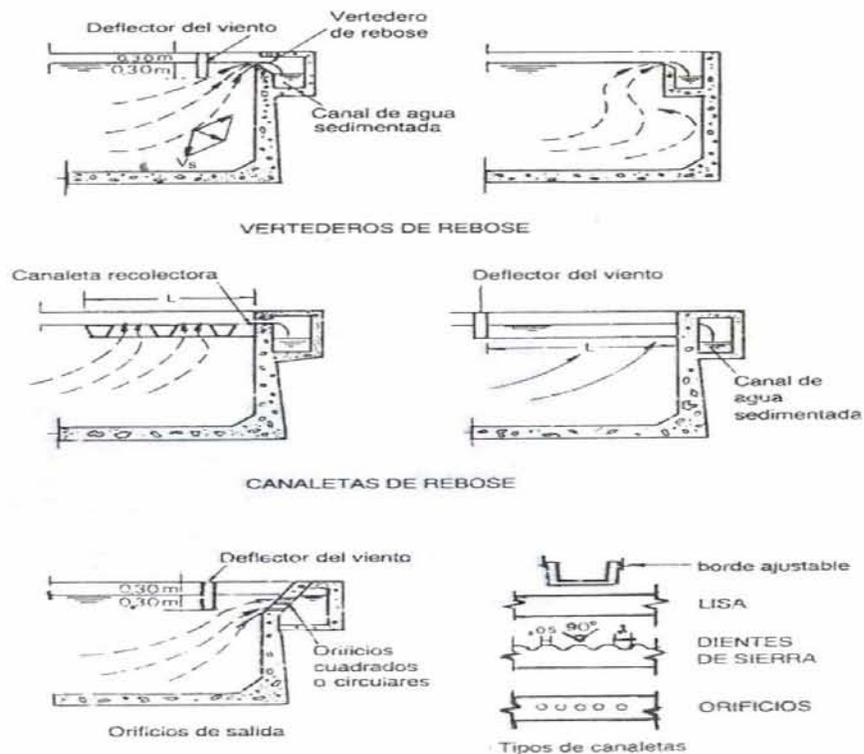


Figura 3.3.1.1 Estructuras de salida en sedimentadotes rectangulares.

En tanques circulares, el flujo entra en el centro del tanque (centro - alimentación) o la periferia del tanque (a lado de la alimentación).

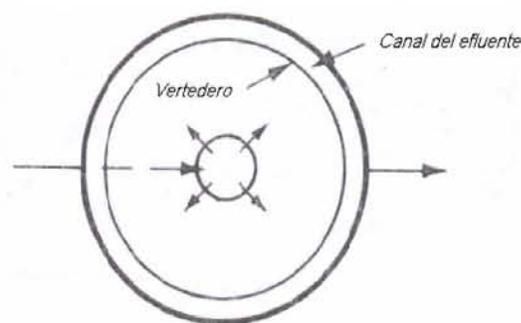


Figura 3.3.1.2

Como se ve en la figura 3.4.2.2 muestra las entradas en el centro-alimentación del tanque. Su diámetro del tanque es aproximadamente de 30 pies. Donde entra en el interior del tubo y descargará por la pared de los ladrillos o los baffles.

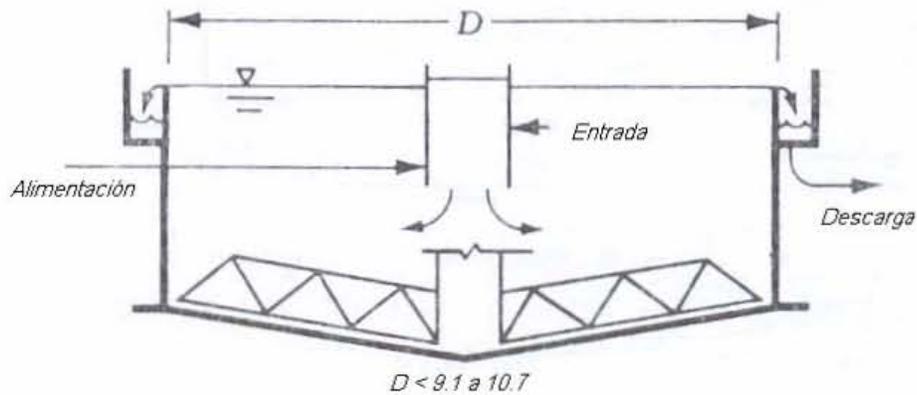


Figura 3.3.1.3

Pero si el diámetro del tanque es mayor de 9.1 m la alimentación entra por debajo del tubo descargando verticalmente en centro de los baffles.

Las salidas para ambos tanques consisten en una presa o canales alrededor de la periferia para dar un flujo uniforme.

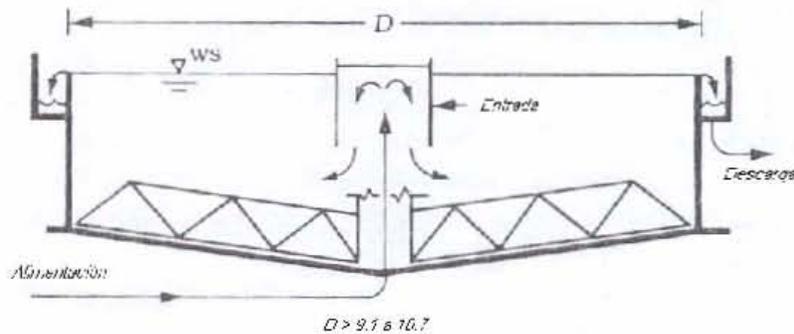


Figura 3.3.1.4

El influente entra por el tubo hacia arriba del sedimentador, y el volumen del cono no es considerado en el volumen de diseño.

3.4. Filtración

De acuerdo con la dirección del flujo, los filtros pueden ser de flujos descendentes, ascendentes o flujo dual.

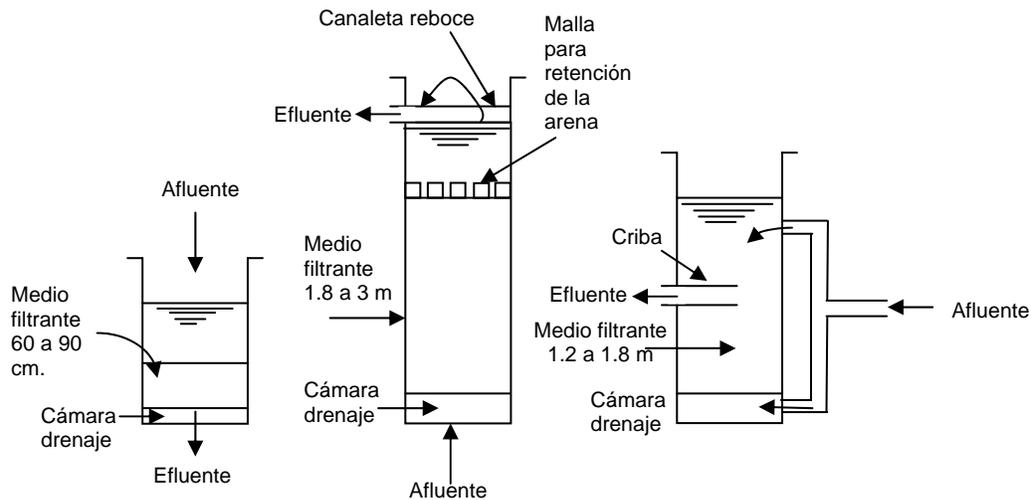


Figura 3.4.1

3.4.1 Tipos de lecho filtrante

Generalmente se utiliza la arena o antracita. Aunque la arena ha sido universalmente utilizada, tanto para filtros lentos como rápidos, a pesar de que en los últimos años se han ensayado otros materiales triturados mecánicamente. La arena puede ser calificada de acuerdo con la variación del tamaño y su distribución, formas y sus variaciones, peso específico y composición química. No hay acuerdo de opiniones si el rendimiento de la filtración es superior con arenas de lecho de ríos, playas, bancos naturales o cuarzo triturado. Principalmente esta constituida por granos de cuarzo, sílice o de ambos, los cuales no varían fundamentalmente en su composición química ni en su peso específico.

El espesor para grava varía de 25 a 40 cm.⁹, que sirve como soporte del medio y para una mejor distribución del flujo durante la operación de lavado, y 60 a 100 cm de arena para filtros descendentes y hasta 3 m para filtros ascendentes.

Se clasifica un carbón como antracita cuando tiene carácter no aglomerado. En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio filtrante, debe de ser limpia, dura, solubilidad en ácido menor del 1% y coeficiente de uniformidad menor de 1.7, puede usarse un lecho de 60 a 70 cm con tamaño efectivo de 0.70 mm¹⁰ o mayor.

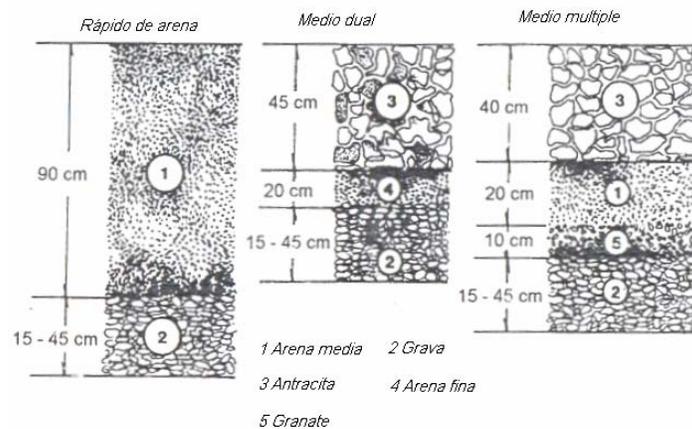
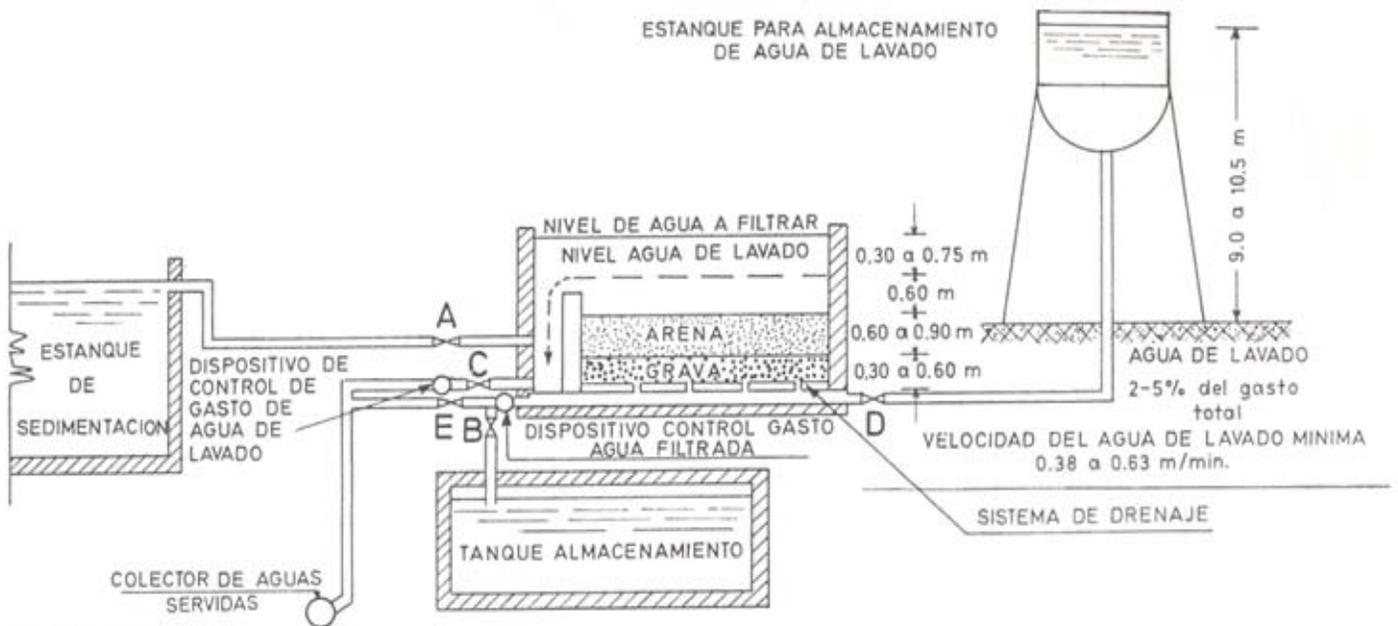


Figura 3.4.1.1 Medios de Filtración

Aparte del proceso que tiene la filtración, es el lavado, el cual consiste en invertir el flujo a través del filtro, aplicando suficiente agua para fluidizar el medio filtrante y producir burbujeo entre los granos del mismo, desechando el material removido a través de las caletas de lavado. Esto se hace regularmente cuando el medio filtrante empieza a acumularse sólidos suspendidos o cuando la pérdida de carga del filtro no es la deseada, se dice que están saturados los filtros.

⁹ Jiménez E. Blancas, "Filtración de agua".

¹⁰ Gray, Nick "Calidad del agua Potable problemas y soluciones". Zaragoza España 1996.



OPERACION DEL FILTRO

1. Abrir válvula A. Permite el paso del agua del estanque de sedimentación.
2. Abrir válvula B. Permite el paso del agua filtrada al estanque de almacenamiento. Durante la operación del filtro todas las otras llaves están cerradas.

OPERACION DEL LAVADO DEL FILTRO

1. Cerrar válvula A.
2. Cerrar válvula B.
3. Abrir válvulas C y D. Esto permite que el agua del estanque de lavado escurra en sentido inverso al flujo normal a través de la arena y grava que elimina las partículas o lodos acumulados en el filtro.

OPERACION INICIAL DEL FILTRO DESPUES DEL LAVADO

1. Abrir válvulas A y E. Todas las otras válvulas están cerradas. El agua filtrada inicial se deja escurrir por algunos minutos al colector de aguas servidas, antes de poner nuevamente el filtro en operación.

Figura 3.4.1.2 Diagrama para una filtración rápida

3.4.2 Filtros lentos de Arena.

Los filtros lentos de arena se utilizan para el tratamiento de las aguas ligeramente turbias y por regla general sin coagulación previa. Estos filtros están constituidos por un estanque, con una capa de arena de 0.60 a 1 m¹¹ de espesor, soportada por una capa de grava de 0.30 a .40 m de tamaño variable. Bajo la capa de grava existe un sistema de control de entrada y salida del agua que mantiene constante la carga y regula el gasto de salida. Completa el filtro un indicador de la pérdida de carga. La tasa de filtración es de 1.3 a 6.5 L/m²/min. Los filtros lentos de arena, debido a su tasa de filtración requieren grandes superficies, el número es función de la cantidad de agua necesaria para atender a la población. Generalmente, de dos a cuatro filtros son suficientes para plantas pequeñas.

¹¹ Opazo Francisco "Ingeniería Sanitaria o Saneamiento y salud Publica"

Para filtros lentos se considera satisfactoria una arena con un tamaño efectivo de alrededor de 0.35 mm y un coeficiente de uniformidad de 1.75. Sin embargo, se encuentran filtros funcionando perfectamente con arena más gruesa 0.5 mm.

El proceso de retención de las partículas en suspensión que lleva el agua se realiza fundamentalmente en la superficie de la arena y penetra sólo algunos centímetros en la capa filtrante.

Al poco tiempo, en la parte superficial del filtro se forma una película semigelatinosa conocida con el nombre de “Schmutzdecke” (cubierta de suciedad), y los granos de arena de la capa superior se cubren de un mucílago que contiene partículas finísimas de arcilla, coloides y microorganismos provenientes del minúsculo flóculo que no ha sedimentado en el estanque correspondiente.

La retención de las partículas hace que el filtro se colma (obstruya), por lo que es necesario someter la arena a un lavado, ya sea retirándola del tanque o por medio de eyectores especiales.

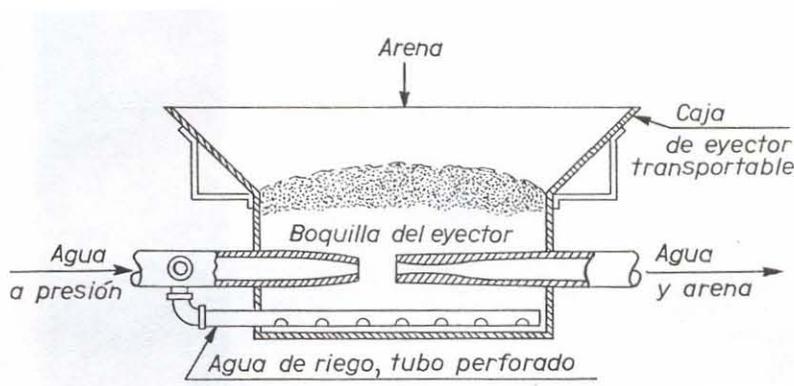


Figura 3.4.2.1 Extractor de arena.

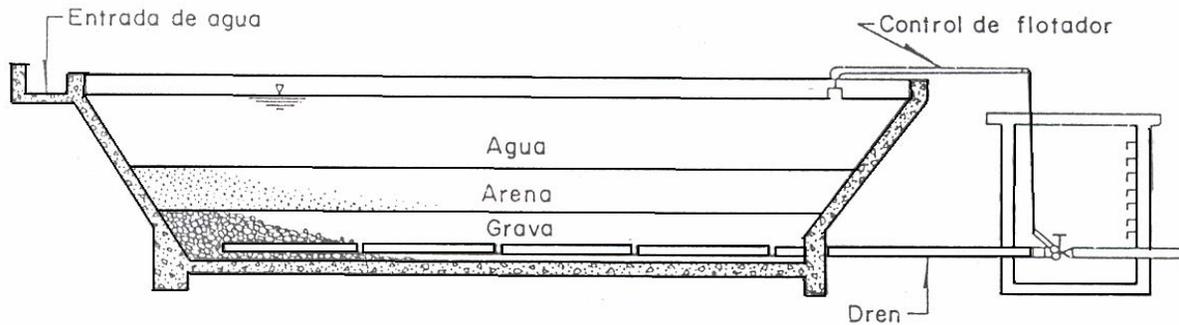


Figura 3.4.2.2 Filtro Lento

3.4.3. Filtros rápidos de Arena.

El filtro rápido de arena precisa agua pretratada. La coagulación y sedimentación deben considerarse como procesos esenciales previos a la filtración rápida. Este filtro está constituido por un estanque generalmente de hormigón, el cual contiene una capa de arena de 0.60 a 0.65 m de espesor, soportada por grava de una altura de 0.3 a 0.40 m¹² y de granulometría creciente hacia abajo, la cual tiene por objeto distribuir uniformemente el agua de lavado y prevenir que la arena pase a través del sistema de drenaje durante el proceso de filtración.

En el fondo se instala un sistema de drenaje que recolecta el filtrado o permite repartir el agua de lavado. Por sobre la arena se colocan las canaletas de lavado. La carga o altura del agua sobre la arena debe mantenerse constante durante el proceso de filtración (1.20 como mínimo)

Conviene que la arena tenga un tamaño efectivo de 0.40 a 0.50 mm²⁰ y un coeficiente de uniformidad inferior a 1.65. Puede usarse con buen éxito tamaños mayores. La dimensión de la grava varía de 7.62 cm a 0.423 cm. En varias plantas se ha obtenido mejor distribución del agua de lavado reemplazando las piedras de más de 2.54 cm por tamaños que varían de 1.905 cm a 2.54 cm. El sistema de drenaje puede ser: parrillas de tubos perforadores, tubos o placas porosas, fondos Wheelw (fondos en los cuales el sistema elector está formado por una serie de troncos de pirámides invertidas rellenos

¹² Opazo Francisco "Ingeniería Sanitaria o Saneamiento y salud Publica"

con esferas de diferente diámetro), u otro cualquiera. Los filtros rápidos, operan con una taza de filtración que varía de 80 a 120 L/m²/min. Sin embargo, hoy se tiende a aumentarla a 200 L/m²/min, y aun más. Debido a la alta tasa de filtración, los filtros rápidos requieren una superficie de terreno reducido.

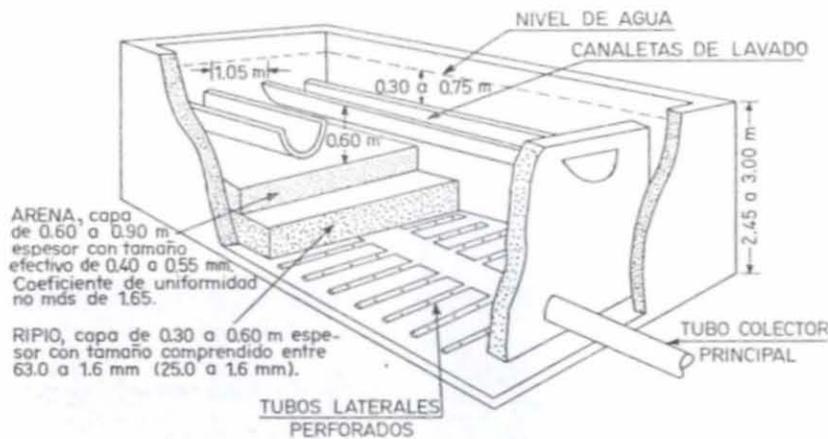


Figura. 3.4.3.1 Filtros rápidos de arena.

La tasa de filtración del filtro rápido es muy superior a la del filtro lento, lo que ocasiona su pronta saturación (24 o menos, a las 72 horas). Esto hace necesario lavar más a menudo el material filtrante, operación que se realiza haciendo escurrir el flujo en sentido inverso al normal; es decir; el agua limpia circula de bajo arriba, motivando un esponjamiento (30 a 50 %), agitación de fricción de la arena, acción que desaloja las partículas a ellas adheridas. El agua se recolecta por las canaletas de lavado y se desvía el desagüe (la operación dura alrededor de diez minutos). El agua utilizada para el proceso se almacena en un estanque, el cual puede estar colocado directamente sobre la misma estructura de los filtros o en un terreno cuya altura permita disponer de presión suficiente. Otras veces se usan bombas que entregan la cantidad de agua necesaria a suficiente presión como para efectuar en buenas condiciones el lavado de la arena.

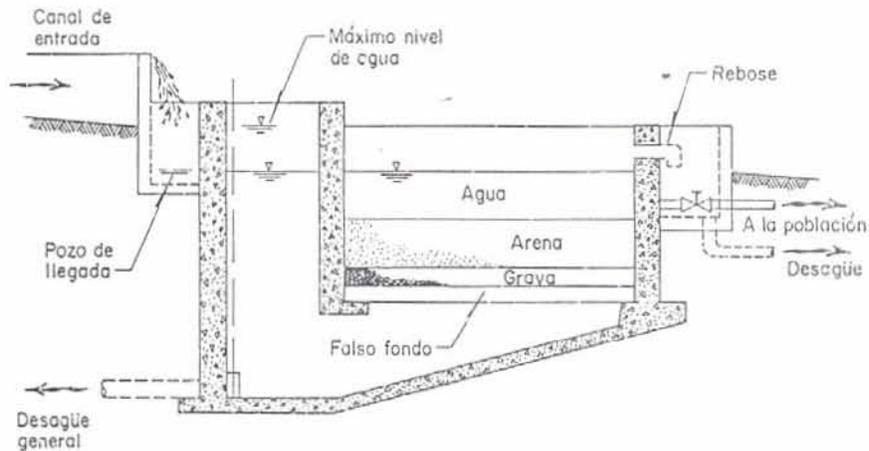


Figura 3.4.3.2. Filtro rápido

3.5 Adsorción

Su funcionamiento es muy simple, consiste en introducir el agua por la parte superior de una columna que contiene el carbón activo para que, mediante la acción de la gravedad o una presión artificial, circule hacia abajo y se recupere a través de un sistema de drenaje inferior. Durante este filtrado, se van acumulando sustancias que, cada cierto tiempo es preciso retirar.

Las camas fijas pueden emplearse hacia abajo o arriba del líquido; el flujo descendiente es más popular ya que la cama granular adsorbente también puede servir como un filtro para alimentos sólidos suspendidos además de la adsorción de sustancias orgánicas. La contracorriente que mueve camas emplea ascendente del líquido y descendente del adsorbente sólido ya que el adsorbente puede estar conmovido por la fuerza de gravedad.

El máximo diámetro disponible de cilindros de acero es aproximadamente 12 pies

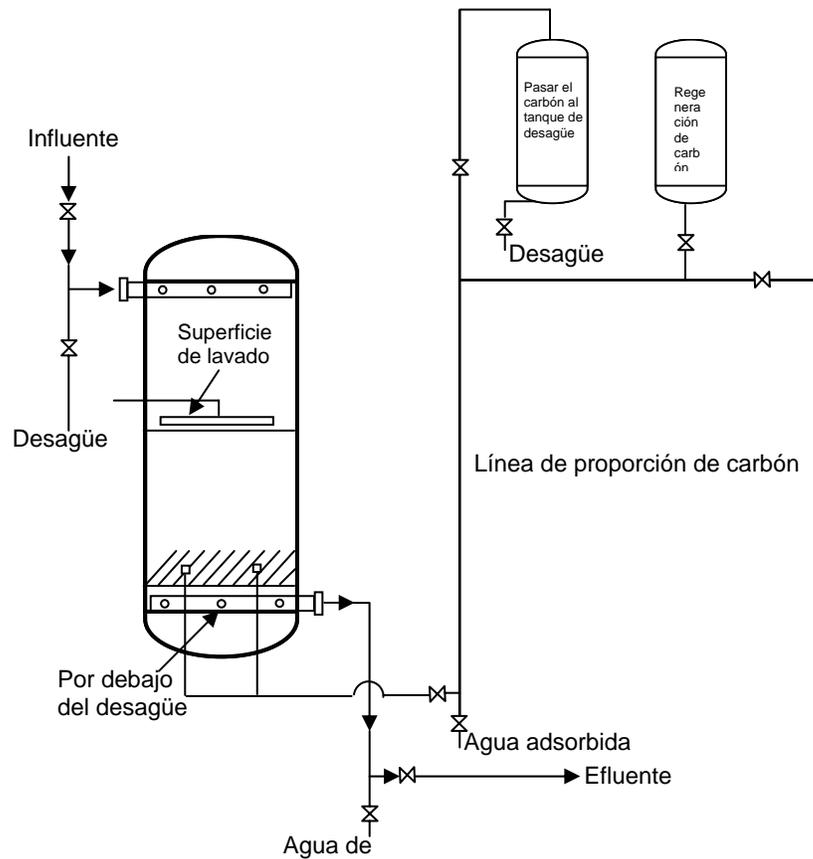


Figura 3.5.1 Diagrama de absorción, columna de carbón

Muestra una fácil instalación de la columna de carbón en la cual es una cama fija típica utilizada para el tratamiento de aguas negras, en ella se emplea una columna con flujo descendente, durante el ciclo de la adsorción el flujo del influente entra por el distribuidor en lo alto de la columna, y el agua fluye hacia abajo por lo cual el caudal por lo general va de 2 a 5^{13} gpm/ft²

Cuando la columna es saturada, ésta pasa a la columna de reserva, la pérdida delantera se hace excesiva debido a la acumulación de la materia suspendida, la columna es tomando por tiempos para retrolavado, que consiste en pasar agua a una presión para así poder utilizar la cama en un 10 a 50 %, esto requiere una turbulencia de 10 a 20 gpm/ft² dependiendo del tamaño de las partículas.

¹³ Reynolds Tom D. "Unit operation and processes in environmental engineering".

La unidad el caudal hidráulico es empleado por lo general de 2 a 10 gpm/ft². El carbón gastado es quitado y el carbón fresco añadido cuando el 5 a 10 por ciento del carbón total en la columna es gastado.

3.6 Desinfección

La desinfección del agua se encarga de la destrucción, o al menos de la desactivación completa, de los microorganismos dañinos presentes en el agua.

3.6.1 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 hipoclorito de sodio, es el producto más empleado en la cual se tiene un depósito para su almacenamiento del producto y se aplica mediante bombas dosificadoras, su empleo requiere de la existencia de cámaras de mezclado.

Los tipos de bomba a caudales constantes son características normales de 150 L/h con una presión de 20 bar.

Bombas a caudal proporcional variable donde la dosificación de 3 a 20 p.p.m, con emisión de impulsor de ½” a 10 “, comando de regulador con señal de electricidad de 4 a 20 mA y de 0 – 60 mV.

Bombas a caudal proporcional fijo, tienen un comando de impulsor de ½” a 10 “con un caudal de 1.5 cm³/Imp.

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.

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 3.7.1 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 venteadado. 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 inyectoros 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.

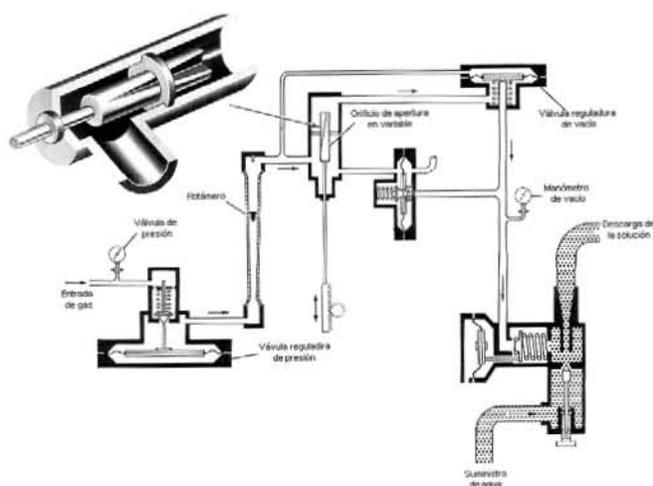


Figura No. 3.6.1.1 Diagrama de flujo de un clorador

3.6.2 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 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 3.7.2.1, 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.

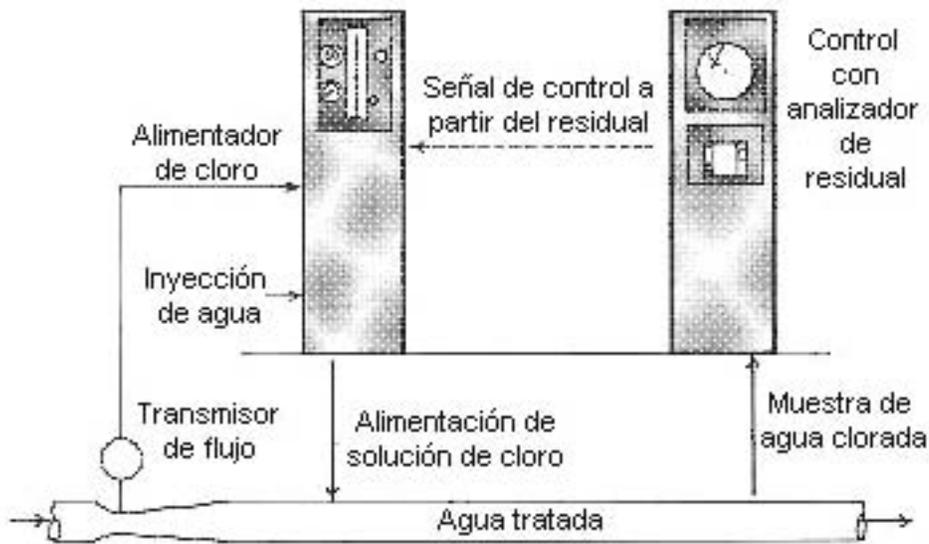


Figura 3.6.2.1 Dosificador y analizador de cloro

3.6.3 Dosificadores

Existen dos tipos básicos de difusores para descargar la solución de cloro

Los de descarga en tubo lleno y los de descarga en canales o cuerpos de agua cubiertos.

Para canales se utilizan los de una tubería perforada o una serie de toberas de suspendidas de una manguera flexible de aproximadamente de 1 ½”.

Los difusores con perforaciones se diseñan generalmente para cada orificio que tome un flujo de 0.6 a 0.13 L/s a una velocidad de 3 – 4.5 m/s¹⁴.

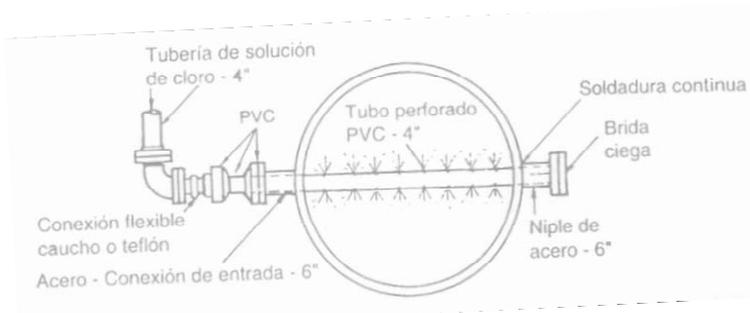


Figura 3.6.3.1

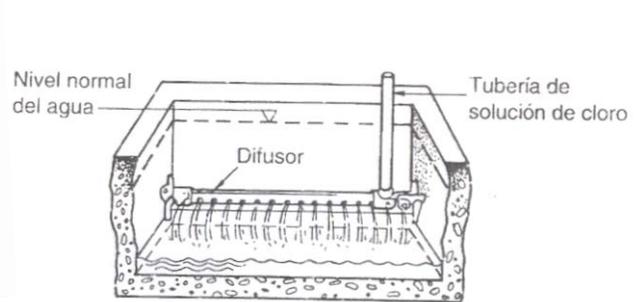


Figura 3.6.3.2

Los dosificadores son pequeñas bombas de desplazamiento positivo que entregan volúmenes específicos de agua cada vez que entra el pistón o el impulsor. El tipo más común son las de diafragma figura 3.7.3.1 o de conexión, que pueden trabajar contra presión. Estas bombas contienen un diafragma flexible accionado por un motor rotatorio o un movimiento recíproco. Las válvulas de entrada y de salida se operan por la succión y presión que crea la cámara del diafragma. La longitud del pistón, y en consecuencia la tasa de alimentación, pueden ser controlados en forma manual a un valor fijo por medio de un control neumático que da el pistón en forma proporcional al flujo del agua, e incluso en forma automática por medio de un alimentador de señal que establezca la calidad del agua.

¹⁴ Gray, Nick “Calidad del agua Potable problemas y soluciones”. Zaragoza España 1996.

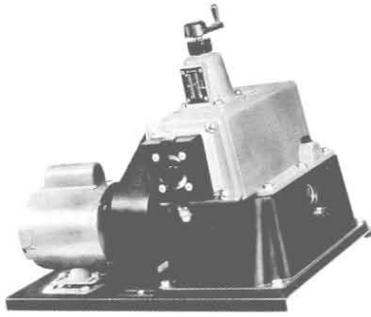


Figura 3.6.3.3 Dosificador de diafragma

3.6.4. Punto de quiebre

La conservación de un cloro residual (libre o combinado) para efectos de la desinfección en agua, en ocasiones resulta complicada debido a que el cloro no sólo reacciona con el amonio, debido a su carácter químico es un fuerte agente oxidante. Así cuando el cloro es adicionado al agua, su primer efecto es oxidar compuestos como Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S y materia orgánica, reduciéndose con esto la mayor parte del ion cloro. A continuación y de acuerdo a lo requerido por la demanda, el cloro reaccionará con el amonio para formar cloramidas (monocloramidas y dicloraminas), de las cuales algunas podrán ser convertidas a tricloruro de nitrógeno y las restantes serán oxidadas formando óxido de nitrógeno (N_2O) y nitrógeno, quedando así el cloro reducido a la forma de ion cloro. En este momento es cuando se llega a lo que se conoce como punto de quiebre. La adición continua de cloro por arriba de éste punto es lo que nos dará el cloro residual libre. Que es a fin de cuentas el responsable de continuar con el proceso de la desinfección a las bacterias.

PROCESO DE LA DESINFECCIÓN

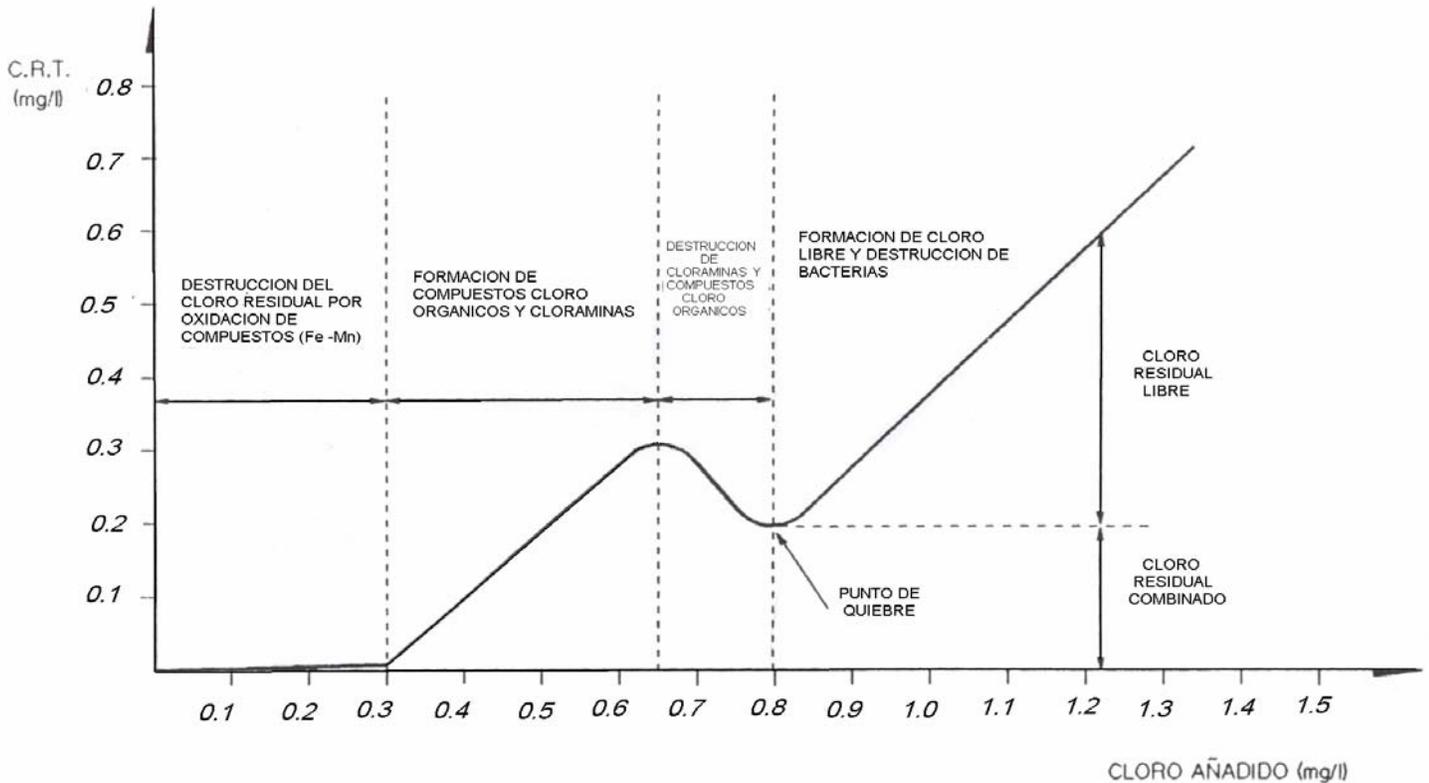


Figura 3.6.4.1 Diagrama del punto de quiebre¹⁵.

3.6.5. Ozonación

Dentro de los desinfectantes disponibles el ozono es el más poderoso, se utiliza en más de 1,000 plantas de tratamiento y se combina con un desinfectante secundario, como el cloro debido a que éste carece de efecto residual, recientes investigaciones demuestran que en combinación de H_2O_2 puede llegar ser una alternativa efectiva y rentable. Es un agente oxidante que se caracteriza por ser bueno para la remoción de color, olor, eliminación de sabores desagradables, es un compuesto químico inestable y que puede ser generado en el sitio.

¹⁵ Definición de la base operativo del sistema, dirección General de construcción y Operación Hidráulica.

3.7 Sistemas de potabilización especiales

3.7.1 Ósmosis inversa.

La ósmosis es el paso espontáneo de un disolvente, en este caso el agua de la solución diluida a una solución concentrada a través de una membrana semipermeable que impide el paso del soluto (sales), pero deja pasar el disolvente (agua), el flujo de agua puede reducirse si aplicamos una presión en el lado de la membrana, llamada presión osmótica, se alcanza el equilibrio y la cantidad de disolvente que pasa en ambas direcciones. Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección del flujo se invierte. Entonces el disolvente puro pasará desde la solución hacia el solvente. Este fenómeno constituye la base de la ósmosis inversa aplicada al tratamiento del agua.

Cuando se nota una disminución del flujo a través de una membrana y a una presión constante esto quiere decir que las membranas se encuentran sucias por lo cual se puede determinar con el índice de ensuciamiento para poder verificar si las membranas están bien o si esta saturadas.

3.7.2 Equipo

Los componentes principales de una unidad de ósmosis inversa son la membrana, la estructura soporte, un contenedor, y una bomba de alta presión. La ósmosis inversa (OI) viene con unidades de pretratamiento, bombas para suministrar la presión, postratamiento, tanques y mecanismos para limpiar y purgar el sistema y mecanismos para descartar la salmuera.

Comercialmente los cuatro sistemas de soporte de membranas o módulos son: tubular, rollos en espiral, fibra fina hueca, placa y marco. La primera requiere sitios considerablemente espaciosos y una inversión inicial elevada, la segunda (rollo en espiral) es la más exitosa para efluentes de aguas residuales domésticas y para la producción de agua potable. La fibra fina hueca y los rollos en espiral son los más comunes.

3.7.2.1 Fibra hueca

La fibra hueca se usa extensamente para desalar agua marina en Medio Oriente. Du Pont desarrolló la tecnología y posee las primeras patentes. Los módulos de fibra hueca consisten en un recipiente a presión en cuyo interior hay un cartucho que contiene el conjunto de membranas. Los diámetros interior y exterior de la fibra hueca son de 41 y 90 μm , respectivamente. Un módulo contiene del orden de 650,000 fibras huecas de 1,18 m de largo y una superficie de 139 m^2 . El módulo se crea doblando un grupo de fibras huecas en U y fundiéndolo a una placa con resina epóxica por uno de los extremos. La alimentación fluye radialmente desde el centro del tubo de alimentación al canal de colección de salmuera, colocado en el exterior del elemento. La velocidad mayor se presenta a la entrada del módulo y la menor en la zona exterior del haz. La recuperación de una fibra hueca varía del 10 al 50% y normalmente es más elevada que la de un elemento de rollo en espiral.

En la zona de alimentación se produce el ensuciamiento por partículas mientras que al final de la fibra, cerca del colector de salmuera, es de tipo químico o coloidal. La configuración del elemento de las fibras huecas es físicamente inclinada y el ensuciamiento ocurre al atrapar partículas en el interior de las fibras. Los módulos de fibra hueca son muy difíciles de limpiar.

3.7.2.2 Elementos de rollo en espiral

Esta configuración es la más usada para producir agua potable. Sus elementos están fabricados a partir de membranas de hoja plana que envuelven un tubo central que colecta el permeado.

Un envolvente de membranas es una membrana de hoja plana que ha sido colocada y enrollada sobre un separador de corriente y una capa permselectiva situada sobre un soporte rígido de textura porosa. La capa activa está en la parte exterior del rollo. La envolvente está pegada en tres bordes y en un extremo. El separador de permeado está completamente envuelto dentro del rollo. El final está pegado para detener el flujo y mantener la presión para que el permeado se dirija hacia el colector central. Un separador de la corriente de alimentación está adherido a cada envolvente por delante

y pegado en la cabeza de la línea final del rollo. Varias envoltentes y separadores de corriente de alimentación están agregados y enrollados en espiral, alrededor del tubo colector central. Se aplica una capa epoxi alrededor de la envoltente para sellar el elemento.

La alimentación entra a través del extremo abierto del elemento mediante un canal creado por el separador de corriente de alimentación. Fluye por un camino paralelo al tubo colector central y atraviesa la capa activa de la membrana y de su soporte, por el interior del canal formado por los separadores de la corriente de permeado. El permeado sigue un camino en espiral hacia el tubo colector central y es llevado hacia afuera como agua producto. En la fibra hueca, la alimentación se va concentrando al pasar al elemento siguiente.

La recuperación en un elemento de rollo en espiral es del 5 al 15%. El caudal máximo de alimentación y concentrado en un elemento de 0,102 m es de 87,8 m³/día y 15,8 m³/día, respectivamente.

La configuración física del rollo en espiral es tal que el caudal en la zona de alimentación es de tipo turbulento, como resultado la membrana es más sensible a los agentes de limpieza. La mayor y menor velocidad se encuentran respectivamente a la entrada y a la salida del elemento. En la región laminar se produce un ensuciamiento químico o coloidal (cerca de la salida) y la de mayor turbulencia presenta un ensuciamiento por partículas. Las membranas de rollo en espiral mantienen una producción constante de agua, sin ensuciamiento, y se limpian más eficazmente que las membranas de fibra fina hueca.

3.7.2.3. Membranas tubulares.

Las membranas, generalmente de ½" de diámetro, va alojada en el interior de un tubo de PVC, que soporta la presión del proceso. En algunos casos se colocan varias membranas en el interior de un tubo de 1.5 a 2" de diámetro. El tubo va provisto de los orificios necesarios para entrada y salida de los flujos de agua que intervienen en el proceso. El agua alimenta a la membrana por su interior y el perneado se obtiene por la parte exterior de la misma. Para aumentar la capacidad de la instalación se colocan varios tubos en paralelo, pero aún en estos casos resulta pequeña.

3.7.2.4. Membranas de ósmosis inversa

Las membranas de ósmosis inversa para agua de mar deben tener propiedades de retención de sal muy altas para producir agua de calidad potable en un solo paso. Deben reducir los sólidos disueltos totales de 35 000 mg/L del agua de mar a 1000 mg/L, por lo que la relación de recuperación debe ser superior al 99%. En consecuencia las membranas de desalación están expuestas a presiones de trabajo muy elevadas de 4,8 a 6,9 MPa (49 a 70 kg/cm² ó 0,7 kg/cm² por cada 1000 mg/L de SDT) ¹⁶ Las presiones de trabajo son mucho menores cuando se alimenta de agua salobre.

Las membranas de desalación se agrupan en dos: las asimétricas (producidas por técnicas de inversión de fase húmeda) y las de capa delgada compuesta (producidas al llevar a cabo una reacción interfacial de cadena cerrada sobre la superficie de un soporte de membrana). Las membranas asimétricas tienen la gran ventaja de que sus materiales de fabricación pueden ser escogidos individualmente, y ciertas características químicas pueden ser diseñadas.

Las asimétricas de acetato de celulosa, se han usado desde el comienzo de la tecnología, en los sesenta y siguen comercializándose a pesar de sus limitaciones. Estas membranas toleran una exposición continua de cloro residual (0,1 a 0,5 mg/L a 25°C), lo que es importante en ciertas aplicaciones. Son, sin embargo, muy susceptibles a la hidrólisis, proceso que se acelera cuando se trabaja a pH de 4 a 6,5.

¹⁶ Plantas Potabilizadoras DGCOH

El material tiene un umbral bajo de temperatura ($< 30^{\circ}\text{C}$), principalmente debido a la hidrólisis y al flujo viscoelástico. El acetato de celulosa es también susceptible a la degradación biológica. El triacetato de celulosa y las mezclas acetato de celulosa/triacetato de celulosa son hidrolíticamente más estables y superan en rendimiento a las membranas homopoliméricas.

La compañía Du Pont probó muchos polímeros en busca de un material superior al acetato de celulosa. Su elección final recayó sobre una poliamida aromática y hoy en día sus membranas asimétricas de fibra hueca son de este material. Tienen excelentes propiedades de retención, pero el rendimiento de caudal es menor que el de los del acetato de celulosa, aunque operan en un intervalo más amplio de pH (de 4 a 9 pH en continuo) y son estables a la degradación bacteriana, aunque susceptibles a la oxidación. Esto ocurre con todas las membranas que contienen nitrógeno en forma de amidas, ($-\text{NH}-\text{CO}$). Las poliamidas son sensibles al cloro residual y, aunque la tasa a la que sucumben al ataque de cloro libre es función del pH, su rendimiento se deteriora gradualmente (a veces catastróficamente) según el grado de exposición. Las membranas de aramida también tienen limitaciones de temperatura, $<40^{\circ}\text{C}$; y la compactación que sufren da como resultado un arrastre de contaminantes y pérdida de caudal.

3.7.2.5. Bombas

Las bombas en ósmosis inversa normalmente son centrífugas y se construyen con materiales anticorrosivos (no metálicos o aleaciones como acero inoxidable). El intervalo de la presión de trabajo varía con los sólidos disueltos totales del agua de alimentación. Las bombas de baja presión pueden trabajar a presiones hasta de 8,3 MPa ($84,4 \text{ kg/cm}^2$). A causa de la necesidad intensiva de energía, las bombas son multietapas o de muy alta frecuencia, con velocidades elevadas de rodete. En las aplicaciones para agua de mar se usan bombas de desplazamiento positivo.

3.7.2.6. Controles

Las plantas de ósmosis inversa son operadas con un control basado en el monitoreo del caudal, la presión, la conductividad, la temperatura, el pH, el nivel del líquido, análisis químicos específicos y tiempo de operación. Los comentarios hechos aquí sólo conciernen a los dispositivos de pretratamiento y membranas.

- El caudal se monitorea para controlar la producción de agua y puede llevarse a cabo automáticamente con controles todo/nada o proporcional- integral-derivado.
- La presión se sigue para el control de la producción de agua y puede efectuarse manual o automáticamente, regulando la operación de la bomba y el ajuste de la válvula a través de una computadora. La presión se incrementa o disminuye según el incremento o disminución de la producción de cada etapa.
- El pH se monitorea y controla automáticamente para tener estabilidad en retroalimentación. La medición del pH es esencial si se utiliza ácido para controlar la incrustación y produce cortes o alarmas si se violan las especificaciones.
- Los niveles líquidos de los sistemas de alimentación de reactivos químicos miden y controlan por regulación todo/nada o proporcional en las plantas de ósmosis inversa y de la nanofiltración.
- Los análisis físicos específicos como turbidez o conductividad se evalúan para asegurar la integridad de las membranas, la presión de los recipientes y la integridad del permeado.
- Las mediciones del tiempo de operación se registran continuamente para supervisar y dar mantenimiento oportuno a las plantas. El tiempo real de operación es esencial para evaluar el rendimiento de la planta.

3.7.2.7. Postratamiento

Los comunes son: remoción de sulfuros, recuperación de la alcalinidad, aireación, desinfección y estabilización. La ósmosis inversa elimina esencialmente todos los organismos patógenos y la mayoría de los precursores de trihalometanos, subproductos de la desinfección, sales y el postratamiento, consta de varias operaciones diferentes, su elección y secuencia son función de la calidad del agua y el criterio del diseñador. Los otros solutos del agua; también excluye la alcalinidad de carbonatos, pero deja pasar todos los gases disueltos como el dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Así se produce un agua que no tiene casi alcalinidad, posee turbidez por sulfuros y no tiene un residual de desinfección y de ahí la necesidad del postratamiento.

3.8. Ultrafiltración.

El mecanismo predominante en la ultrafiltración por membrana es el tamizado selectivo a través de los poros, el rechazo de una membrana para una sustancia determinada, depende de su forma molecular, tamaño y flexibilidad así como de las condiciones de trabajo, una membrana útil debe ser capaz de obtener una buena separación a una velocidad económica. La membrana debe de tener un margen de separación de pesos moleculares estrecho y un flujo de disolvente por unidad de superficie alto para presiones diferenciales bajas. El margen de separación de una membrana típica de ultrafiltración es ancho, quizás desde dos veces a diez el peso molecular. Los valores típicos del flujo de agua por unidad de superficie oscilan entre 9.54×10^{-4} - 2.38×10^{-3} g/cm².seg para valores de 0.68 – 3.40 atm¹⁷.

Existen dos tipos de membranas, las de arrollamiento en espiral y fibra hueca.

Cuando las membranas son de tipo de arrollamiento en espiral se colocan dentro de un tubo de presión, la separación se realiza a causa del tamaño del poro, siendo la selectividad de 0.01 micra.

¹⁷ CNA Comisión nacional del agua.

Las fibras huecas se agrupan en haces, en el interior del recipiente y el sentido del flujo de filtración es inverso, es decir, adentro hacia afuera.

El material de que están constituidas estas membranas, PVDF o polisulfona principalmente, las hace resistentes a la cloración, lo que no sucede con las otras membranas.

Las membranas de arrollamiento en espiral se sitúan en el interior de recipientes de presión como las de membranas de ósmosis inversa, agrupándose según la capacidad de la planta en bastidores que llevan equipos parecidos a los de ósmosis, si bien trabajan a presión muy bajas también soporta mejor el cloro puesto que en su fabricación se emplea la polisulfona.

3.8.1 Membranas.

La ultrafiltración, es una operación a presión, normalmente entre 0,05 a 0,5 MPa (0,51 y 5,1 kg/cm²), lo que permite utilizar bombas de desplazamiento positivo y membranas sintéticas de menor costo. Las instalaciones casi siempre son modulares, muy compactas (alta relación del área de la membrana al volumen del equipo), y con capacidad de crecimiento. Las consideraciones para el buen diseño de un módulo tienen que ver con la mecánica de fluidos y la transferencia de masa, para manejar el caudal y la retención. También es importante establecer la densidad de compactación de las membranas, los requerimientos de energía (kWh/m³ de producto), la simplicidad de diseño y el costo de reposición de las membranas.

Normalmente, las membranas se fabrican sobre un sustrato de material poroso, el cual le da una resistencia mecánica, la protege durante la fabricación y manipulación, así mismo simplifica la construcción del módulo.

Un módulo es la unidad operacional en la que las membranas están colocadas y consta de:

- Membranas
- Estructuras de soporte de la presión
- Puertos de entrada de la alimentación
- Distribuidores del caudal
- Puntos de salida y drenaje del permeado y concentrado

En la tabla muestra diversas opciones de equipo en forma comparativa

	Tubular	Capilar	Placa bastidor y	Enrollado en espiral
Costo/superficie	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Costo cambio de membrana	Alto	Moderado	Bajo	Moderado/Bajo
Caudal (m ³ /d h)	Bueno	Bueno	Bajo	Bajo
Densidad compacta (m ² /m ³)	Pobre	Excelente	Bueno/Bien	Bueno
Volumen	Alto	Bajo	Medio	Medio
Consumo energético	Alto	Bajo	Medio	Medio
Ensuciamiento	Excelente	Bueno/Bien	Bueno/Bien	Medio
Limpieza <i>in situ</i>	Excelente	Bueno	Bien/Pobre	Pobre

Porter, 1990

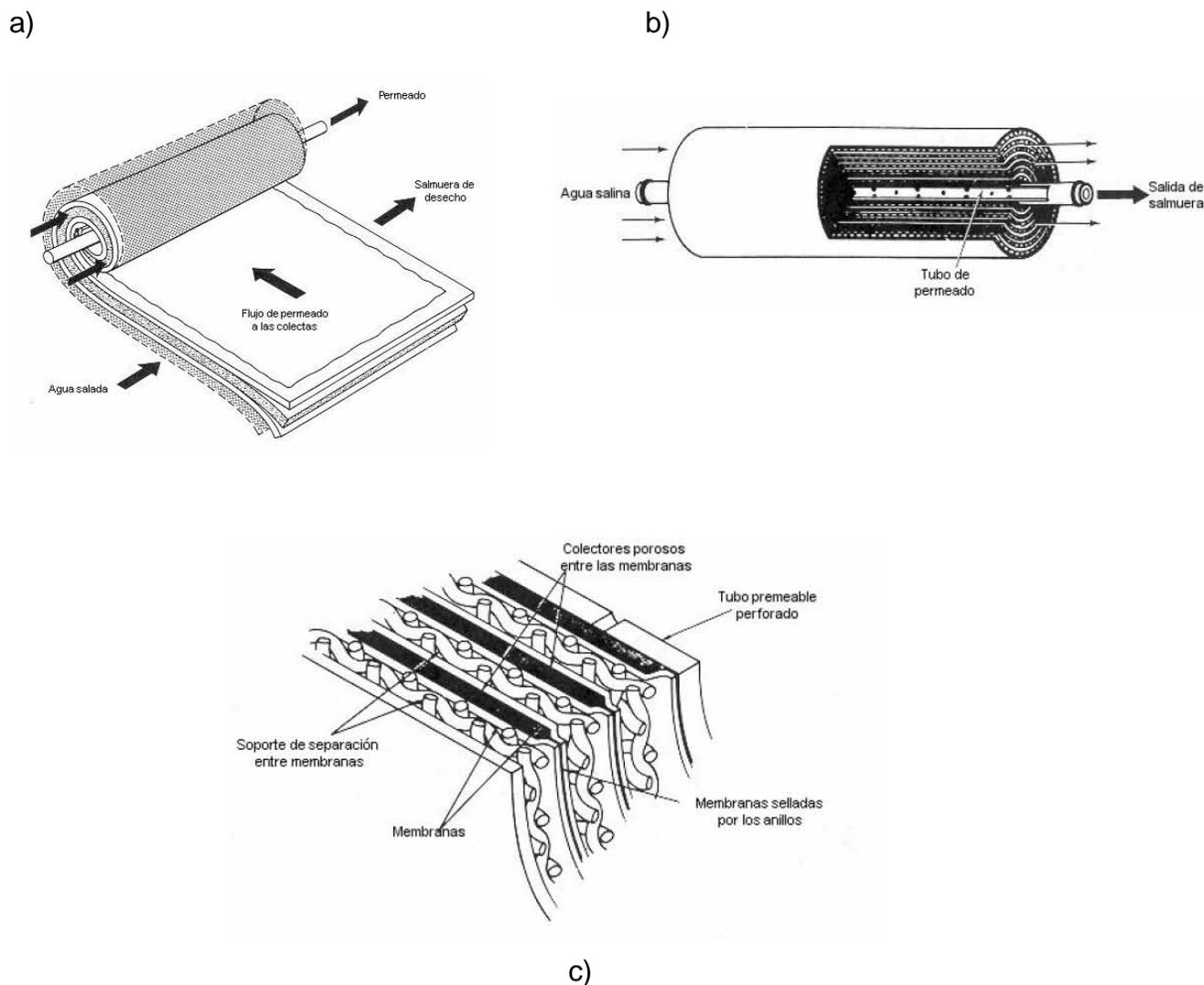


Figura. 3.8.1.1 Módulos espirales para ósmosis inversa a) módulo desenrollado, b) corte del módulo y c) detalle de las capas

En la figura 3.8.1.1 se muestra un módulo en espiral que consiste de una membrana enrollada sobre un cilindro poroso que recolecta el agua. Las membranas se encuentran unidas por pares en su longitud y en un extremo para formar bolsas cerradas. En el extremo abierto están conectadas a un tubo central perforado que colecta el permeado. Cada bolsa tiene un espaciador y se encuentran todas enrolladas para formar un módulo en espiral. El agua entra por un extremo, en la zona que generan los espaciadores y es

forzada a pasar a través de las membranas en bolsas a presión. De las bolsas sale el agua por el extremo cerrado ya desalada.

Otra opción es emplear membranas de poliamida aromática en forma de fibras huecas tan finas como un cabello humano. El diámetro exterior es de 85 a 100 μm y el interior de 42 μm . Un módulo de fibras contiene muchas de ellas en un dispositivo muy denso enrolladas en forma de U con un lado fijo al aparato. El agua salada entra al sistema por un alimentador central perforado y fluye en forma radial a través de las fibras. Bajo la presión, el agua penetra en las fibras y es llevada al extremo fijo para ser recolectada. La salmuera o agua que no entra a las fibras es recolectada por un extremo.

3.9. Desmineralización

La desmineralización es un proceso de intercambio iónico, pues el agua pasa a través de una camada resina catiónica que atraerá en su superficie los minerales metálicos de carga positiva, después atraviesa una cama de resina aniónica para atraer los minerales no metálicos de carga negativa. Esta resina se encuentra en dos tanques separados y al flujo se le imprime presión para lograr el efecto deseado. Una vez que las resinas han agotado su capacidad de intercambio, es necesario regenerarlo, generalmente con HCl y NaOH. Las condiciones de operación de este tipo de instalaciones, han hecho que hoy en día prácticamente no se instale desmineralización aplicada directamente sino que se instale como proceso de afine tras una ósmosis inversa. Esta circunstancia, va a depender fundamentalmente de la calidad del agua a tratar. La tendencia actual, es alargar el máximo posible los ciclos de modo que se espacien las regeneraciones, minimizando de este modo los residuos generados.

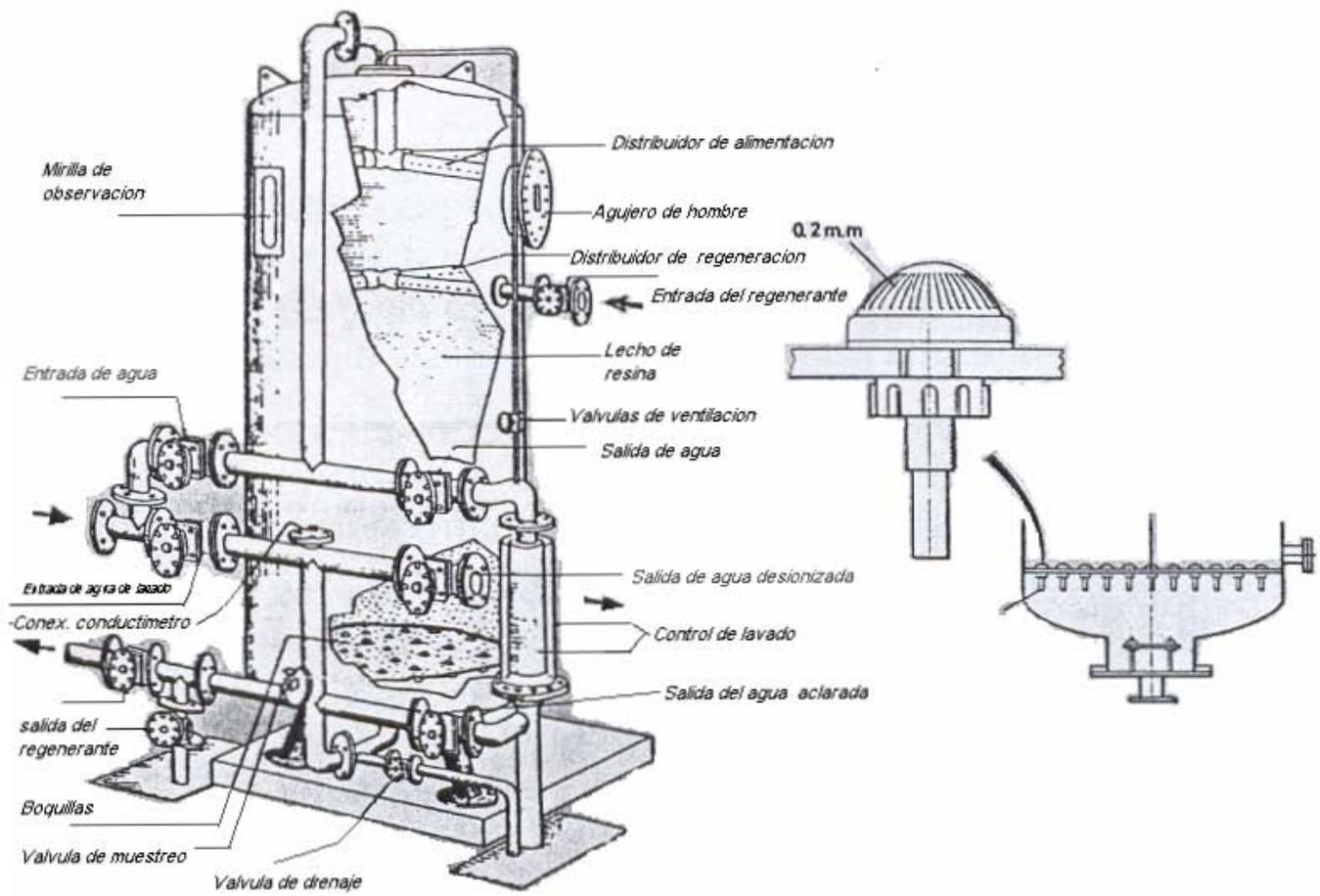


Figura 3.9.1

El diseño de los recipientes de intercambio iónico responde al requisito de operar con lechos profundos de resinas introducidas en columnas, dando un flujo de agua estacionario y tranquilo, que se acerque lo máximo posible al movimiento en pistón en toda la sección del lecho. La resina debe estar soportada y distribuida uniformemente.

La altura de los lechos de resina se sitúan entre 70 y 150 cm²¹⁸, para la operación convencional, mayores alturas de lecho representaría pérdidas de eficiencia hidráulica por la resistencia la flujo y las pérdidas de carga por encima, debe de quedar una cámara de expansión que sea capaz para la expansión en el lavado y la dilatación de las resinas al cambiar de forma iónica. Se suele tomar de un 50 a un 75 % de la altura del lecho para las catiónicas y de un 100 % para las aniónicas menos densas.

Es importante realizar una buena distribución de los flujos, regulándolos mediante sistemas adecuados. En la parte inferior se emplea con preferencia una placa colectora con boquillas finamente ranuradas para evitar pérdidas de resina. La placa debe ser fuerte para resistir el empuje ejercido por el lecho y el fluido. La columna va provista de mirillas para controlar la operación, en particular el lavado en contracorriente y las eventuales pérdidas de resina.

¹⁸ Tratamiento de aguas para la industrias y otros usos

CAPITULO IV

MÉTODOS ANALITICOS DE LABORATORIO

El agua potable debe cumplir con toda una serie de requisitos relacionados con los caracteres organolépticos, físico-químicos, relativos a sustancias no deseables, a sustancias tóxicas, microbiológicas y relativas a radiactividad.

El agua contiene muchos microorganismos o sustancias no deseadas, por lo cual se tiene que realizar una serie de pruebas o técnicas analíticas, para determinar si el agua que llega al consumidor es apta o no, aunque se busca medir en laboratorio sólo los deseables, la separación de los mismos es compleja. De hecho, una muestra de agua contiene, aparte de lo que se desea conocer, todo aquello que pudo disolver, arrastrar, suspender o emulsionar en su trayecto. Por ello la selección adecuada del método de análisis es un proceso delicado y debe tomar en cuenta la precisión, (exactitud de un valor obtenido), la sensibilidad (cuál es el límite de detección) y las posibles interferencias, (compuestos que reaccionan bajo las condiciones de la técnica analítica empleada y que incrementan o disminuyen el valor).

Para mantener las condiciones estables en cada uno de los procesos se realizan determinaciones de parámetros analíticos que los podemos clasificar en físicos, químicos, y microbiológicos.

4.1 Técnicas Analíticas

El método que se emplea para determinar un compuesto se llama técnica analítica y puede ser:

- Volumétrica.
- Calorimétrica.

- Espectrométrica.
- cromatográfica.

4.1.1. Volumétrica.

Estos métodos conocidos también como por titulación, el cual consiste en la separación de soluciones con reactivos denominados primarios, que reaccionan con ciertos compuestos en proporción definida, por lo que hace posible la aplicación de cálculos estequiométricos.

Por ello se emplea principalmente en laboratorios con escasos recursos analíticos. Una de estas técnicas son utilizadas para determinar la alcalinidad con H_2SO_4 0.02N, la determinación de cloruros con nitrato de plata, la dureza con EDTA, entre otros.

4.1.2. Colorimétricas.

Esta técnica consiste en hacer reaccionar al compuesto que se va analizar para formar una solución con color, en el espectro visible o ultravioleta, y medir la absorbancia, esto quiere decir la pérdida de energía de un rayo de luz monocromático, de la solución resultante. La concentración es determinada al preparar soluciones con concentraciones conocidas del compuesto, buscando a los que midan su absorbancia, datos con los que se elabora una curva de calibración. Los cuales se puede utilizar en la medición de nitrógeno amoniacal con reactivo Nessler, la medición de nitratos con la N-naftil etilendiamina, la determinación de las sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

4.1.3. Espectrométricas.

Al igual que la colorimetría tiene el mismo funcionamiento, pero este en vez de medir la cantidad de color formado mide la pérdida de luz al hacer incidir un rayo sobre una solución.

Absorción atómica.

Este método se basa en la absorción de una luz monocromática por una nube de átomos del material que se va analizar, la luz es producida por una fuente emisora fabricada con el mismo tipo de átomos, que se quiere determinar y por consiguiente produce una fuente de radiación electromagnética de muy alta selectividad.

Espectroscopia de emisión

Muchos metales pueden ser analizados al observar las líneas espectrométricas, que emiten cuando son calentados con flama o por medio de una descarga eléctrica, producida entre electrodos de grafito.

4.1.4. Cromatografía.

Existen dos tipos de cromatografía de gases y de líquidos.

La cromatografía de gases, en el cromatógrafo, la fase móvil sirve para arrastrar la muestra a través de una fase estacionaria, que es una columna empacada o capilar, los gases que se emplean como transporte son nitrógeno, argón con metano, helio o hidrógeno. Los empaques de las columnas están hechos de vidrio de borosilicato y rellenos de líquidos recubiertos con sólidos inertes, la columna se instala dentro de un horno, con extremo conectado con la cámara de inyección y el otro al detector, se controla la temperatura en la cámara de inyección, el horno y el detector.

En la cromatografía líquida (High Performance Liquid Chromatography, HPLC), se emplea un líquido como transporte a través de una columna que contiene otro líquido, pero en fase estacionaria. La interacción de la muestra con la fase estacionaria efectúa la separación de los diversos componentes. La detección de los compuestos separados se logra mediante el empleo de detectores de absorbancia para los orgánicos o bien detectores electroquímicos para metales compuestos inorgánicos.

4.2. Parámetros Microbiológicos.

Para la determinación de los parámetros microbiológicos existen dos pruebas:

- Método de los tubos múltiples o NMP (número más probables.)
- Método de filtros de membrana.

4.2.1. Método de los tubos múltiples.

Este método podrá utilizar cualquier tipo de agua. El procedimiento consiste en determinar los coliformes mediante la siembra de distintos volúmenes del agua a analizar en serie de tubos conteniendo medios de cultivo líquido lactosado y posteriormente se resiembra en medios de cultivos con incubación a temperatura adecuada

El procedimiento comprende las pruebas, de confirmación de coliformes totales y de confirmación de coliformes fecales.

Prueba de presuntiva: es un procedimiento de criba en el que una reacción negativa excluye la presencia de microorganismo del grupo coliformes y una reacción positiva indica una posible presencia.

La técnica consiste en disponer una gradilla con una serie de tubos y en su caso, frasco con medio líquido, caldo lactoso simple y de doble concentración, según la tabla de NMO que se haya elegido, mediante pipetas estériles. Sembrar los tubos de la serie tomando el volumen del agua, ya homogenizada que se indica en la tabla. Los volúmenes de 10 ml a 50 ml deberán sembrarse en tubos o frascos conteniendo de medio a doble concentración. Se homogenizan los tubos sembrados, y se incuba a 37 °C durante veinticuatro o hasta cuarenta y ocho horas¹.

¹ APH, AWWA, WEF, Estándar Methods for the Examination of water and wastewater, 20^a ed Washington.

Los tubos positivos serán aquellos en los que aparece enturbiamiento y gas en la campana de fermentación independientemente de su cantidad. La producción de gas se pone también de manifiesto por el desprendimiento de pequeñas burbujas que atraviesan el medio al agitarse suavemente el tubo.

4.2.2. Método de filtros de membrana.

Consiste en determinar el número de coliformes y establecer mediante la filtración de volúmenes, el número de estreptococos fecales determinados del agua a analizar por filtros de membrana e incubación sobre medios selectivos a temperaturas adecuadas. La filtración se realiza de forma similar a la de los coliformes, y se incuban a 37 °C durante cuarenta y ocho horas. Transcurrido este tiempo se recuentan las colonias de color rojo ladrillo, violeta o rosa. Las colonias que no presentan esta coloración no se toman en cuenta por no corresponder a estreptococos fecales. Puede estimarse que el número de estreptococos fecales presentes en 100ml corresponden al número de colonias desarrolladas con las características descritas.

4.3. Parámetros Organolépticos.

4.3.1 Color.

El color se debe a la presencia de iones metálicos como el Fe, Mn, y restos de materia orgánica que habrá de diferenciar entre color verdadero, que es el que se presenta una vez eliminada la turbidez, y el color aparente, que influye la materia en suspensión, así que es necesario eliminar la turbidez antes de la determinación del color.

El método de patrón de medida de color es el Cobalto–Platino, siendo la unidad de color el producido por 1 mg de platino en 1 L en forma de ion. El índice cobalto–platino puede variarse para equipar la tonalidades. Para métodos de campo puede establecerse en la comparación de color del agua con el de discos de vidrio situados al extremo de tubos metálicos, que contienen tubos de vidrio de comparación llenos de

agua destilada, se iguala el color de la muestra con el del tubo de agua destilada más el cristal de color calibrado, mirando a través sobre una superficie blanca y calibrarse cada disco hasta que corresponda con el color de la escala platino- cobalto.

La muestra debe tomarse en recipientes limpios y analizarse lo mas rápido posible, en caso de requerir almacenamiento se deberá mantener en refrigeración a 10 °C - 4°C

4.3.2 Olor y Sabor.

Tanto el olor como el sabor no existe una técnica analítica ya que el olor en agua potable debe ser inodora, cualquier olor puede significar posibles contaminantes. El sabor ha de ser insípido, por ejemplo un sabor salado y amargo indica la presencia de magnesio, si el sabor es metálico indicará la presencia de Fe, Mn, Cu en el agua.

4.3.3. Turbiedad.

Se utiliza el método nefelometrico, el cual constituye la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencias en idénticas condiciones.

La interferencia que puede haber en este método es la suciedad del vidrio donde la muestra es colocada con la presencia de burbujas de aire, puede producir errores falsos.

Se utiliza un equipo llamado turbidimetro, el cuál consiste en un nefelometrico en una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la vía de luz incidente.

4. Metales.

4.1 Método directo de llama aire-acetileno.

Se hace pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro de membrana de ésteres de celulosa para recoger los metales y compuestos metálicos de interés. El filtro conteniendo la muestra recogida se trata con ácido nítrico concentrado. Los metales presentes se solubilizan y la disolución se aspira a la llama de un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodos de cada metal en cuestión.

Las mediciones de absorbancia se hacen a las longitudes de onda características de cada metal utilizando corrección de fondo para la absorción inespecífica en los casos que ello fuese necesario como se ve en la tabla.

Los resultados analíticos se obtienen por interpolación en la curva de calibración correspondiente. A partir de la cantidad de analito presente en la muestra se obtiene la concentración ambiental.

MARGENES DE CONCENTRACION DE ABSORCION ATÓMICA CON ABSORCION ATÓMICA DE ASPIRACION DIRECTA.					
Elemento	Longitud de onda nm	Gases de la llama	Limite de detección del instrumento mg/l	Sensibilidad mg/l	Margen óptimo de concentración mg/l
Ag	328.1	A - Ac	0.01	0.06	0.1 - 4
Al	309.3	N - Ac	0.1	1	5 - 100
Au	242.8	A - Ac	0.01	0.25	0.5 - 20
Ba	553.6	N - Ac	0.03	0.4	1 - 20
Be	234.9	N - Ac	0.005	0.03	0.05 - 2
Bi	223.1	A - Ac	0.06	0.4	1.0 - 50
Ca	422.7	A - Ac	0.003	0.08	0.2 - 20
Cd	228.8	A - Ac	0.002	0.025	0.05 - 2
Co	240.7	A - Ac	0.03	0.2	0.5 - 10
Cr	357.9	A - Ac	0.02	0.1	0.2 - 10
Cs	852.1	A - Ac	0.02	0.3	0.5 - 15
Cu	324.7	A - Ac	0.01	0.1	0.2 - 10
Fe	248.3	A - Ac	0.02	0.12	0.3 - 10
Ir	264	A - Ac	0.6	8	-
K	766.5	A - Ac	0.005	0.04	0.1 - 2
Li	670.8	A - Ac	0.002	0.04	0.1 - 2
Mg	285.2	A - Ac	0.0005	0.007	0.02 - 2
Mn	279.5	A - Ac	0.01	0.05	0.1 - 10
Mo	313.3	N - Ac	0.1	0.5	1.0 - 20
Na	589	A - Ac	0.002	0.015	0.03 - 1
Ni	232	A - Ac	0.02	0.15	0.3 - 10
Os	290.9	N - Ac	0.08	1	-
Pb	283.3	A - Ac	0.05	0.5	1.0 - 20
Pt	265.9	A - Ac	0.1	2	5.0 - 75
Rh	343.5	A - Ac	0.5	0.3	-
Ru	349.9	A - Ac	0.07	0.5	-
Sb	217.6	A - Ac	0.07	0.5	1.0 - 40
Si	251.6	N - Ac	0.3	2	5 - 150
Sn	224.6	A - Ac	0.8	4	10 - 200
Sr	460.7	A - Ac	0.03	0.15	0.3 - 5
Ti	365.3	N - Ac	0.3	2	5 - 100
V	318.4	N - Ac	0.2	1.5	2 - 100
Zn	213.9	A - Ac	0.005	0.02	0.05 - 2

A - Ac =aire-acetileno N -Ac = óxido nitroso - acetileno

4.5. Método Calorimétrico Para determinación de CN⁻.

Para la determinación de CN⁻, se utiliza un espectrofotometro de 10nm. El cual mide la absorbancia de la muestra, para ello es necesario realizar curvas de calibración de NaOH que servirá como blanco, así preparar una serie de patrones, comparar la absorbancia de los patrones con la concentración de CN⁻, con base a las primeras curvas se preparan patrones con menor concentración de CN⁻ , determinando los limites con el fotómetro.

Se toma una porción de líquido de absorción obteniendo de tal modo su concentración de CN⁻ esté comprendida en el rango mensurable para diluir con solución de NaOH, así mismo agregara unos ml de tampón fosfato, de solución de cloramina-T y agregar una solución de piridina-ácido barbitúrico, el cual medirá la absorbancia y se realizan los cálculos necesarios.

4.6. Surfactantes aniónicos como SSAM.

Los surfactantes entran al agua residual principalmente por descarga de residuos acuosos de casa-habitación y lavandería industriales y otras operaciones de limpieza, un surfactante combina una molécula simple con un grupo fuertemente hidrofobito y fuerte hidrofilito. Tales moléculas tienden a congregarse en la interfase entre un medio acuoso y la otra fase del sistema tal como aire, líquido aceitoso y partículas que imparten propiedades tales como espumas, emulsificación y suspensión de partículas.

4.7. Cromatografía de gases para plaguicidas.

Se utiliza una columna construida de vidrio de borosilicato silanizado. Al introducir la muestra, los compuestos son evaporados y llevados a través de la columna por el gas de transporte, cada uno viaja con diferente velocidad en función de sus coeficientes de participación.

4.8. Método de Nesslerización NH_3

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para la vida, el nitrógeno que proviene de la descomposición de vegetales, animales y excrementos pasa por una serie de transformaciones. En el caso de los vegetales y animales, el nitrógeno se encuentra en forma orgánica. Al llegar al agua, es rápidamente transformado en nitrógeno amoniacal, pasando después a nitritos y finalmente a nitratos. Esas dos últimas transformaciones solamente ocurren en las aguas que contengan mucho oxígeno disuelto, pues son efectuadas por bacterias de naturaleza aerobia llamadas nitrobacterias. De esa forma, cuando encontramos mucho nitrógeno amoniacal en el agua, estamos en presencia de materiales orgánicos en descomposición y por lo tanto en un medio pobre de oxígeno.

La presencia de nitrógeno amoniacal en aguas superficiales sin tratar no es común e indica contaminación doméstica e industrial.

Para la determinación del nitrógeno amoniacal se puede utilizar el método Nessler, el cual contiene Hg I_2 y KI diluido en una solución de NaOH .

Este método consiste en calibrar el espectrofotómetro, en una celda que mida 25 ml de agua desmineralizada, añadiendo un mil de nessler, que servirá como blanco, luego a una celda con la muestra diluida se le agrega el reactivo Nessler, en el espectrofotómetro se pone la longitud de onda de 425nm se coloca la celda y se lee en mg/l^2 .

Se pueden preparar estándares de color permanente para poder determinar visualmente la concentración de nitrógeno amoniacal, como se puede mostrar en la tabla.

² APH, AWWA, WEF, Estándar Methods for the Examination of water and wastewater, 20^a ed Washington

PREPARACION DE ESTANDARES DE COLOR PERMANENTE PARA DETERMINACION VISUAL DE NITROGENO AMONICAL.		
Valor en nitrógeno amoniacal g	volumen aproximado de solución de platino ml *	Volumen aproximado de solución cobalto ml*
0	1.2	0
2	2.8	0
4	4.7	0.1
7	5.9	0.2
10	7.7	0.5
14	9.9	1.1
17	11.4	1.7
20	12.7	2.2
25	15	3.3
30	17.3	4.5
35	19	5.7
40	19.7	7.1
45	19.9	8.7
50	20	10.4
60	20	15

*En tubos de Nessler de 50 ml similares.

4.9. Parámetros sólidos suspendidos totales. Técnica gravimétrica.

Altas concentraciones de materia hidroscolóida como calcio, magnesio, cloruros o sulfatos, requieren un tiempo más prolongado de secado y defecación provocando dificultad en la obtención del peso constante. Se debe excluir partículas grandes, material o aglomeraciones sumergidas de materia homogénea.

Durante la determinación está sujeta a error debido a la pérdida de carbonato de amonio y materia orgánica volátil durante el secado, el efecto a ser pronunciado con sedimentación con lodos.

Para la determinación de los sólidos es el método gravimétrico, consiste en poner a peso constante los crisoles Gooch el cual se coloca un disco filtrante de vidrio en un crisol Gooch, y se aplica al vacío, primero se colocara una pequeña cantidad de agua destilada, posteriormente se filtra la muestra que se va analizar, por consiguiente, se pasa a la mufla para secado del crisol, y se pesa.

4.10. Alcalinidad.

El método se basa en el uso de dos indicadores (fenolftaleína y naranja de metilo), titulando con ácido sulfúrico valorando en presencia de fenolftaleína, el cambio de indicador se manifiesta cuando se ha neutralizado todo el hidrógeno y solo la mitad de carbonato pasa a bicarbonato a una solución de pH de 8.2, decolora la fenolftaleína se adiciona naranja de metilo entre la cual la solución es todavía alcalina puesto que el viraje que éste indicador se verifica en pH 3.1 y 4.4 , se puede titular con ácido valorando el bicarbonato formado hasta que el color amarillo cambie a canela. En esta segunda titulación el ácido neutraliza el bicarbonato formado en la primera titulación.

El método es aplicable a muestras de agua que no presentan color o turbiedad en la aparición de color del indicador durante la titulación.

La turbiedad, el color y presencia del hipoclorito de sodio en exceso interfiere en la coloración el color del indicador desaparece, para eliminar dicha interferencia adicionar gotas de tiosulfato de sodio 0.1 N

CAPITULO V

MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE MUESTREOS

Para que en una población cuente con el vital líquido (agua), es necesario la distribución de ella, pero no siempre se cuenta con las condiciones óptimas, y en realidad no se sabe si la calidad con la que llega a la población lo es, por ello se realizan investigaciones en cuanto la calidad del agua ya que cada vez es más importante determinar componentes a bajo nivel de concentración

5.1 Muestreo del agua.

El muestreo constituye uno de los factores esenciales para el cumplimiento de las normas por lo cual es necesario realizar tomas de muestras que sirven como una operación previa antes de cualquier proceso analítico, puede definirse la toma de muestra como “la operación en obtener una porción del material que se selecciona de tal manera que sea representada dentro de los límites medible”.

Para lograr buenos resultados de un muestreo dentro de una población dada es necesario saber que tamaño es la población, porque con ello podemos dividir el territorio en celdas por ejemplo de un kilómetro por un kilómetro, de tal forma que se encuentren seccionada toda población y así pueda determinar el tamaño de muestra dentro de una población esta puede ser todo una ciudad que a su vez se puede reducir en delegaciones, estado, o municipio. Todo dependerá de que población se quiera realizar el estudio.

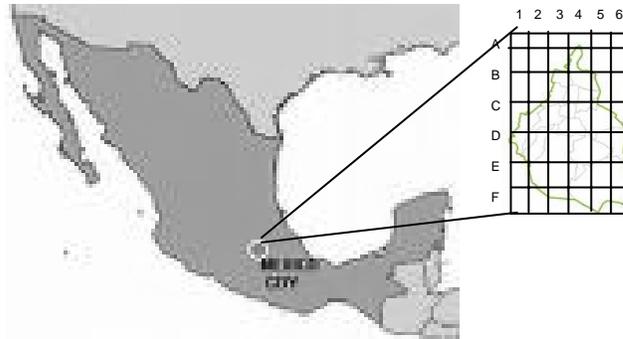


FIGURA 5.1.1

Una vez dividido el territorio se puede nombrar las líneas verticales con letras y las horizontales con los números para su mayor identificación como lo muestra la figura 5.1.1

Cabe mencionar que para cada estudio de muestreo en la población hay que tener en cuenta el número de plantas potabilizadoras; esta información debe ser proporcionada por el Gobierno Federal, Estatal o municipal dependiendo del caso, una vez identificado el número de plantas se procede a determinar el tamaño de la muestra:

5.2 Tamaño de muestra

Es necesario evaluar el tamaño de la muestra que se va a examinar dentro de una población dada. Para tener un error de estimación mínima es necesario aumentar el tamaño de la muestra, si se incluye el total de la población, entonces $|\bar{X} - \mu|$ será igual a cero, para un nivel de confianza fijo, será posible determinar un tamaño de la muestra tal que el error de estimación sea tan pequeño como se quiera, para ser más preciso, dado un nivel de confianza y un error fijo de estimación ε , se puede escoger un tamaño de muestra n tal que:

$$p(|\bar{X} - \mu| < \varepsilon) = \text{nivel de confianza} \dots \dots \dots \text{(Ec. 5.2.1)}$$

Con el propósito de determinar n , el error máximo de estimación está dado por:

$$\varepsilon = \frac{z\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2.2.})$$

Si se eleva al cuadrado ambos lados de esta ecuación 5.2.2 y se despeja n de la ecuación resultante, se obtiene:

$$n = \left(\frac{z\sigma}{\varepsilon}\right)^2 \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2.3.})$$

Como n debe de ser un número entero, redondeamos hacia arriba todos los resultados fraccionarios.

En el caso de que se tenga una población finita y un muestreo sin reemplazo, el error de estimación se convierte en la ecuación 5.2.4:

$$\varepsilon = \frac{z\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-n}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2.4.})$$

De nuevo se eleva al cuadrado ambos lados y se despeja la n , obteniendo¹:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{\varepsilon^2 (N-1) + z^2 \sigma^2} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2.5.})$$

Donde

n = tamaño de la muestra

Z^2 = intervalo de confianza

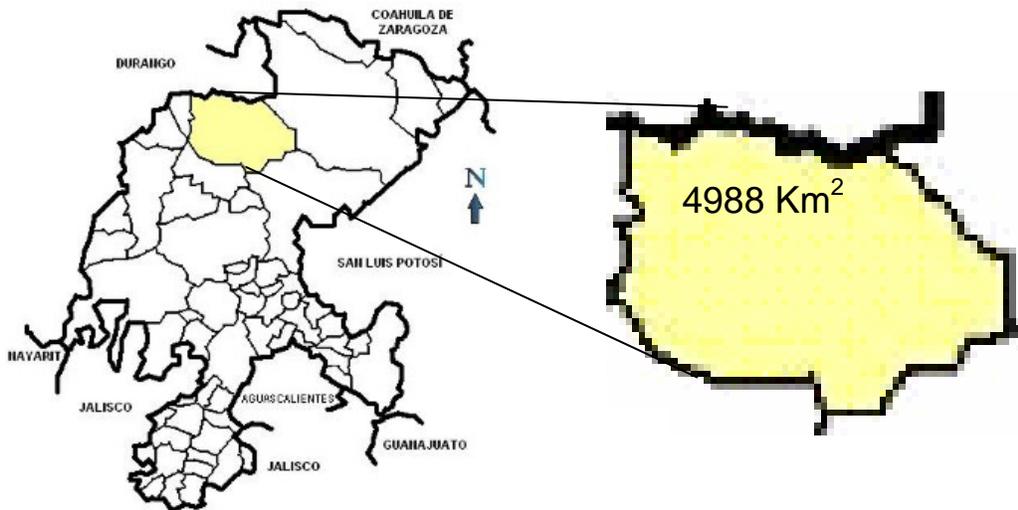
σ^2 = desviación estándar

N = tamaño de la población

ε^2 = error de estimación

¹ Kreyszing Edwin. Introducción a la estadística matemática: principios y métodos , México Limusa-wiley, 1975

Si se toma una población como por ejemplo el municipio Francisco R. Murguía del estado de Zacatecas, que tiene una ubicación geográfica de 103° 15" de longitud oeste y 24° 15" de latitud norte, con una extensión territorial de 4,988 Km² y una población de 23,112 habitantes.



Para determinar el tamaño de la muestra en el Municipio Francisco R. Murguía, se toma el nivel de confianza del 95 % ya que es intervalo en el cual se podrá permitir una confiabilidad acertada dentro de un parámetro. Con un error de estimación de +/-1 % es decir 0.1, la desviación estándar es estimada de 0.39, ya que se tomaron valores dentro del estudio del artículo “Determinación de indicadores de impacto ambiental en una población rural”²

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{\varepsilon^2 (N - 1) + z^2 \sigma^2} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5.2.5.})$$

² La revista de saneamiento Vol. 6 Calidad Bacteriológica del agua de consumo de Puerto Sisal, Yucatán

Donde:

n = tamaño de la muestra

$$Z^2 = 1.96$$

$$\sigma^2 = 0.39$$

$$N = 4988$$

$$\varepsilon^2 = 0.01$$

Sustituyendo valores de la ecuación 5.2.5

$$n = \frac{(1.96)^2(0.39)^2(4988)}{(0.1)^2(4987) + (1.96)^2(0.39)^2}$$

$$n = \frac{(3.841)(0.156)(4988)}{(0.01)(4987) + 0.584}$$

$$n = \frac{2914.07}{50.45} = 57.7$$

Se redondea a 58 muestras

Así que para el territorio de 4,988 Km² es necesario tomar 58 muestras en ese municipio, pero si redesea delimitar más el tamaño de la muestra sólo se necesario dividir el territorio dependiendo del estudio o la cantidad de muestras que se deseé analizar.

Como en el caso del puerto de Sisal, Yucatán que tiene una población de 6000 habitantes de los cuales se tomaron 53 muestras que se realizaron en tres estratos los

cuales se dividió a la población en: ciénega que fueron 14 muestra, 13 en la parte media, en la playa 12 y por ultimo 14 muestras de agua en los pozos que se utiliza.

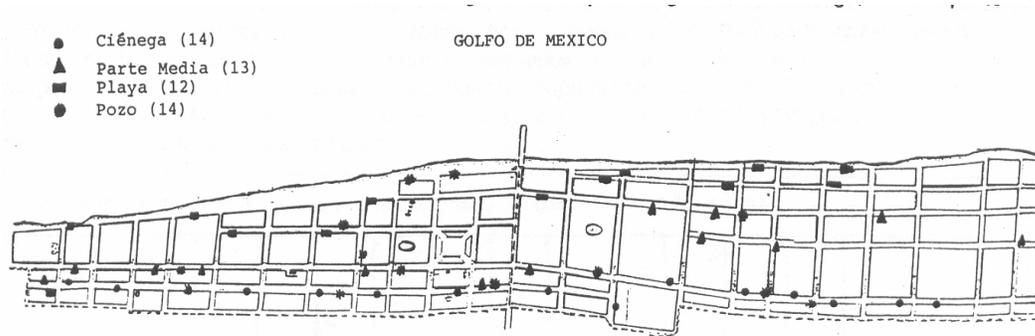


Fig. 1.- Sisal, Yucatán.
Ubicación de los Puntos de Muestreo.



Figura 1.- Sisal, Yucatán
Ubicación de los Puntos de Muestreo.

Al igual se tomo un intervalo de confianza del 95%, con una desviación estándar de 0.37 y un error máximo de 0.1

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{\varepsilon^2 (N - 1) + z^2 \sigma^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

$$Z^2 = 1.96$$

$$\sigma^2 = 0.37$$

$$N = 6000$$

$$\varepsilon^2 = 0.01$$

Sustituyendo valores en la ecuación

$$n = \frac{(1.96)^2(0.37)^2(6000)}{(0.1)^2(5999) + (1.96)^2(0.37)^2}$$

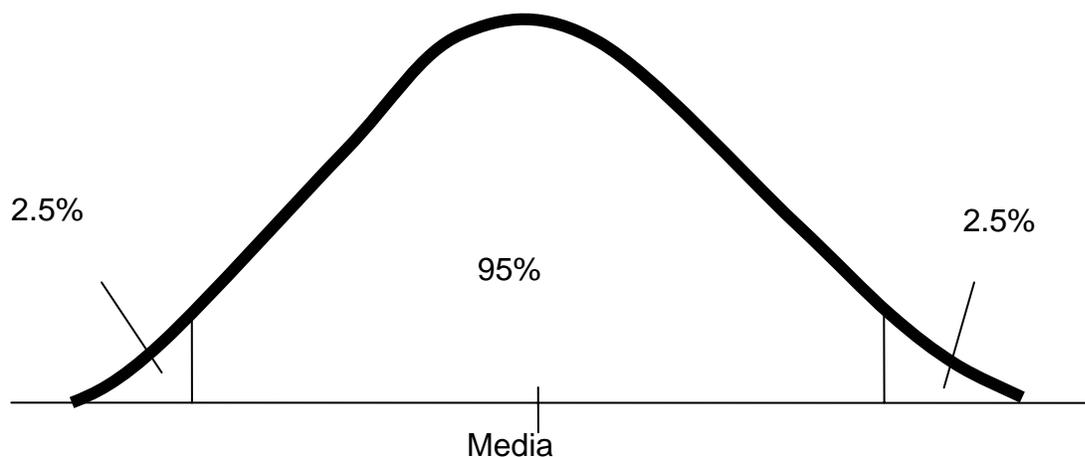
$$n = \frac{(3.841)(0.137)(4988)}{(0.01)(5999) + 0.526}$$

$$n = \frac{3156}{60.52} = 52.14 \approx 53$$

5.3. Intervalo de confianza

La probabilidad con la que el método dará una respuesta correcta, son el 95% y 99% de confianza no se busca un porcentaje del 100 %, en virtud de que los intervalos serian tan grandes que no serian tan provechosos, con la elección del 95 % se tiene una probabilidad acertada ya que es lo suficientemente pequeño para que se encuentre entre lo establecido.

En este caso, en lugar de indicar simplemente un único valor como estimación del parámetro, lo que se hace es ofrecer un intervalo de valores que sea asumible con cierta probabilidad por el parámetro que queremos estimar ello quiere decir que el 95% de las veces que repitamos el proceso de muestreo (y calculemos la media muestral), la media poblacional estará dentro de tal intervalo.



Se sabe que la distribución subyacente es normal, lo cual ayuda enormemente.

En una distribución normal tipificada, es muy fácil saber qué puntuación típica (z) deja a la izquierda el 2.5% de los datos (yendo a las tablas es -1.96) y cuál deja a la izquierda el 97.5% de los datos (o a la derecha el 2.5% de los datos: 1.96).

Ahora habrá que pasar esos datos a puntuaciones directas

La distribución es normal, pero con cierta media y cierta desviación típica

La media de la distribución muestral de medias es la media poblacional μ

La varianza de la distribución muestral de medias es σ^2/n

O lo que es lo mismo, la desviación típica de la distribución muestral de medias es³:

$$\sigma / \sqrt{n} \dots\dots\dots(\text{Ec. 5.3.1.})$$

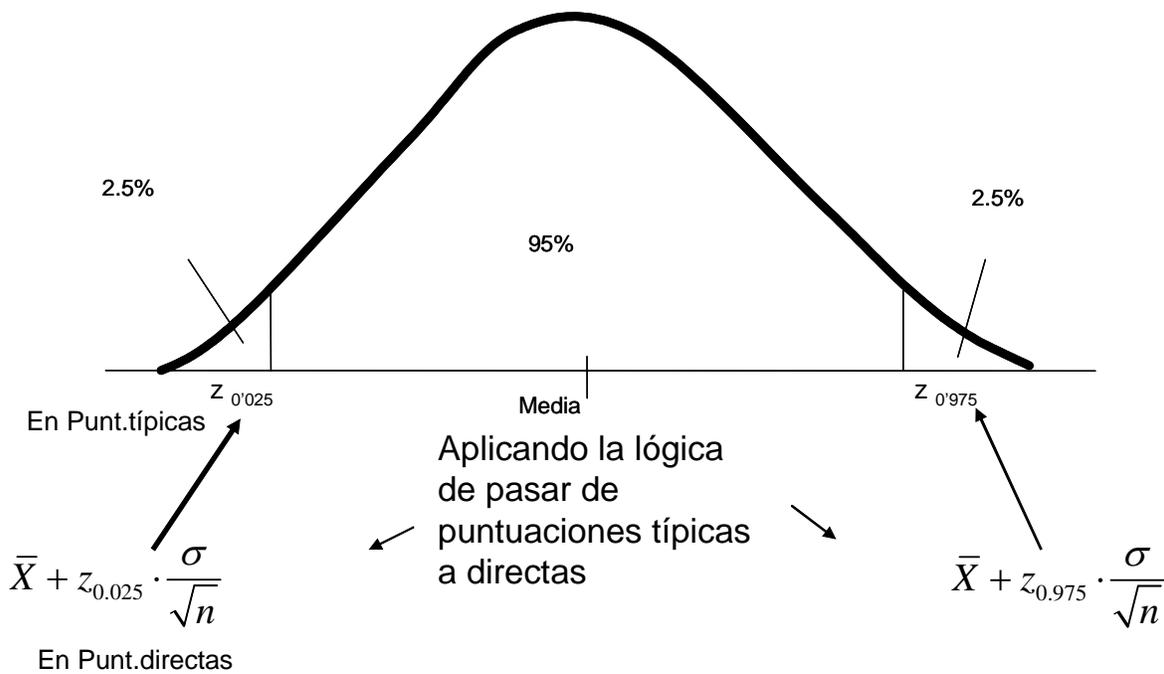
Y para pasar directas-típicas:

Estimador de μ es \bar{X}

$$\text{si } Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma / \sqrt{n}} \dots\dots\dots(\text{Ec. 5.3.2.})$$

$$\text{O lo que es análogo } X_i = Z_i * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + \bar{X} \dots\dots\dots(\text{Ec. 5.3.3.})$$

³ Harnet Donald. Introducción al análisis estadístico, addisión-Wesley iberoamericana 1987.



En definitiva
$$P\left(\bar{X} + z_{0.025} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + z_{0.975} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0.95$$

$$P\left(\bar{X} + Z_{0.25} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{0.75} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 0.95 \dots \dots \dots (\text{Ec. 5.3.4.})$$

La ecuación 5.3.4

Quiere decir que cada vez que se extraiga una muestra y se halle la media, el parámetro desconocido μ estará entre los límites de dicho intervalo el 95% de las veces. (O el 99% si hubiera elegido un intervalo al 99%, etc.)

5.4 Muestreo

En el presente trabajo, se propone que el análisis de la calidad del agua se efectúa en varios niveles, esto depende de la estimación que se realice sobre el tipo de agua y la zona.

El muestreo más simple es el primer nivel, se utiliza para detectar contaminación bacteriológica y obtener información sobre residuos libres de cloro, acidez, color, olor, conductividad, temperatura y turbiedad.

El segundo nivel, muestra las características físicas y químicas, tales como alcalinidad total, cloruros, color, demanda de oxígeno, dureza total y nitrógeno amoniacal.

El muestreo en el nivel tres, cumple con las normas para el agua potable, incluyen los parámetros adicionales de cloro, dureza (calcio y magnesio), los fluoruros, los sólidos totales disueltos, nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico, metales, etc.

El nivel cuatro, es un procedimiento de muestreo intensivo, el cual se realiza en casos de que existen problemas específicos; este tipo de muestreo puede abarcar componentes sintéticos orgánicos, demanda de oxígeno biológico y químico, radón y otros patógenos humanos.

Cada nivel indicará la representatividad, para ello es necesario conocer que tan confiable puede ser cada uno.

Pero como en el análisis que se realiza en campo, no se pueden realizar todos los niveles, puesto que se elevan los costos del análisis en el laboratorio, al menos que esto sea necesario, al notar un exceso de elevación del 10% de los parámetros establecidos dentro de la “*NOM-127-SSA1-1994*”, que podrían causar daño a la salud del hombre.

Por lo regular el muestreo general solo se realiza la determinación de caracteres organolépticos (olor y sabor), pH, temperatura, y el que se puede realizar fuera del laboratorio puede ser la determinación del cloro.

El muestreo detallado es el que se realizan en el laboratorio, el cual entran los parámetros físico-químicos (concentración en ión hidrógeno, cloruros, sulfatos, sílice, sodio, magnesio, entre otros); sustancias no deseables (amonio, carbono orgánico, hidrógeno sulfurado, hidrocarburos, aceites minerales, boro, cloro, flúor, entre otros); sustancias tóxicas (plata, arsénico, cianuros, plomo, plaguicidas y productos similares, hidrocarburos policíclicos aromáticos, entre otros); microbiológicos (estreptococos fecales, estafilococos patógenos; bacteriófagos fecales; protozoos, animálculos (gusanos-larvas); radioactividad.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con base a la investigación que se realizó, se pudo percatar que en la República Mexicana, se encontró un gran número de parámetros que rebasa los límites máximos permisibles dentro de la “NOM-127-SSA1-1994”, *salud ambiental, agua para uso y consumo humano*, principalmente el norte de la República, donde hay una fuerte presencia de fluor, arsénico y otros, así como de coliformes fecales, por mencionar algunos, donde la población en las áreas rurales son la más afectada ya que no la pueden consumir para su higiene personal o beberla, puesto que provienen de los acuíferos, aun cuando en los estados cuentan con un sistema de distribución contienen las mismas características.

Por lo que es muy importante realizar un buen diseño para el tratamiento de la misma, tener los procesos óptimos en cada región, y si es necesario implementar procesos como la osmosis inversa, el cual se garantiza su calidad del agua al final del proceso y poderla distribuir a la población sin ningún riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales, permitiendo la extracción de los contaminantes que pudiera haber dentro del proceso.

Pero sobre todo garantizar que las redes de distribución no haya fugas que se podrían contaminar con la red de aguas negras, por lo que es primordial realizar un análisis donde el muestreo tiene un papel muy importante ya que gracias a ello se pueden detectar la fugas y puntos rojos donde se este contaminando, así que el muestreo asegura la representatividad de la muestra, los datos que se deriven de los análisis de de aquellas, serán la base para la propuesta de mejoras en las instalaciones de tratamiento y que el análisis no solo sea en la salida de cada planta de tratamiento o de cada rebombeo, sino tomar una región para la realización de un barrido en toda la población, teniendo un control minimizando los errores y fugas que se encuentren.

Se podrán realizar muestreos específicos para cada situación presentada dentro de una región limitada, por lo que es preciso seleccionar los puntos adecuados del muestreo y determinar la frecuencia y tipo de muestreo a coleccionar, con ello ahora si poder implementar realmente la “NOM-127-SSA1-1994” *salud ambiental, agua para uso y consumo humano*, y supervisar que se cumpla cada una de las normas para la calidad del agua y sobre todo las instituciones, organizaciones y comisiones encargadas de vigilarlas.

Es conveniente hacer recomendaciones en cada institución para la supervisión de las plantas potabilizadoras, realizando monitoreo constantes donde se garantice su distribución y calidad del agua que se les distribuye a las poblaciones, con ello se espera que esta información aquí presentada podrá ayudar a resolver algunas dudas que se hayan presentado en las plantas de tratamiento o por lo menos tener una orientación a las personas encargadas del buen funcionamiento de las plantas potabilizadoras.

ANEXO I

LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA DE LA NOM-127-SSA1-1994.

NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Bibliografía

APH, AWWA, WEF, Estándar Methods for the Examination of water and wastewater, 20^a ed Washington.

CNA, Comisión Nacional del Agua.

Dirección General de construcción y operación Hidráulica, Técnicas analíticas Físico-Químicas determinadas en el laboratorio

Dirección General de construcción y operación Hidráulica, Definición de la base operativa del sistema.

Gray, Nick., "Calidad del agua Potable problemas y soluciones". Zaragoza España, Acriba.

Harnet Donald. Introducción al análisis estadístico, Addison-Wesley iberoamericana 1987.

Instituto de Investigación Económica y social, Sevilla., Alejandro, "La explotación de mantos acuíferos en México: efectos económicos y a la salud. Septiembre 2004.

Jiménez Blanca E. "La contaminación Ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada", ed Limusa S.A de C.V, grupo Noriega editores. 2001.

Kreyszing Edwin. Introducción a la estadística matemática: principios y métodos, México Limusa-wiley, 1975.

La revista de Saneamiento Ambiental en México, Agua potable, Vol.6, No 81, 15 de Julio 1991.

López Baldovín Francisco, "Agua Potable: Toxicología y Análisis", Servicio de publicaciones Universidad de Córdoba.

NOM 012-SSA1-1993, "Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados".

NOM-014-SSA1-1993, "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados".

NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. "Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

NOM-179-SSA1-1998, "Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público."

Opazo Francisco, "Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y salud publica".

Pérez López José Antonio, "Estudio Sanitario del Agua", 2ª edición Granada 1999.

Ramos Olmos, "El agua en el medio ambiente muestras y análisis". Universidad autónoma de Baja California. Ed Plaza y Valdez 2003.

Revista interdisciplinaria de ciencia y tecnología del agua, Ingeniería hidráulica en México, Vol. XVI, núm. 4, II Época-octubre-diciembre de 2001

Reynolds Tom D. "Unit operation and processes in environmental engineering".

Rigola Lapeña, Miguel., "tratamiento de aguas Industriales: Agua de proceso y residuales". ed., Marcombo boixareu editores. 1989.

Romero Jairo Alberto, "Potabilización del agua", ed, Alfaomega, 1999.

Walter J. Weber, "Control de la Calidad del Agua, Procesos Físicoquímicos", ed. Reverte, S.A.