

47
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

DESINFECCION CON CLORO EN LA
POTABILIZACION DE AGUA Y EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :

ROSALIA LEDESMA RAMIREZ



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D.F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Señorita
ROSALIA LEDESMA RAMIREZ
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-056/94

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ** que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

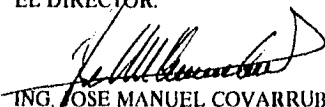
"DESINFECCION CON CLORO EN LA POTABILIZACION DE AGUA Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

- I. INTRODUCCION
- II. PRINCIPIOS DE LA DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES
- III. METODOS DE DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES: NO QUIMICOS, HALOGENOS DISTINTOS DEL CLORO, AGENTES OXIDANTES DISTINTOS DE LOS HALOGENOS Y REACTIVOS VARIOS
- IV. METODOS DE DESINFECCION CON CLORO Y SUS DERIVADOS
- V. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CLORADORES
- VI. CONCLUSIONES

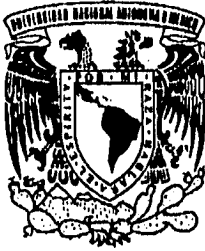
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 1 de junio de 1994.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nlh



**DESINFECCION CON CLORO EN LA POTABILIZACION DE
AGUA Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES GLORIA Y JAVIER
QUE SIEMPRE CUENTO CON ELLOS
EN LOS MOMENTOS MAS DIFICILES
Y QUE ME APOYAN EN TODO
MOMENTO, GRACIAS POR TODO ESO
Y MAS.

A MIS HERMANOS LUZ MARIA, GLORIA
JAVIER, GRACIAS POR SU APOYO Y
CARIÑO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO
Y FERNANDO QUE CON SUS RISAS Y
JUEGOS SIEMPRE ALEGRA MI VIDA,
GRACIAS.

EN ESPECIAL A ESE SER QUE SE ME
ADELANTO AL FINAL DEL CAMINO Y
QUE FUE UNO DE LOS ALICIENTES
PARA LLEGAR AL FIN, GRACIAS A TI
ABUELITA MARGARITA.

A TODOS MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:
ALBA, ALMA, AMELIA, CATY, CRISTINA
DAVID, EDUARDO, ENRIQUE, FLOR, IVAN,
IVONNE, JORGE, JOSE ANGEL, JUAN LUIS,
LETY, LUPITA, MATY, MIGUEL ANGEL,
PABLO, SANTIAGO, SAMARI, SERGIO, Y
TERE, GRACIAS POR SU APOYO, AMISTAD
Y CARIÑO BRINDADO.

A LA ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ
POR SU APOYO INCONDICIONAL PARA LA
ELABORACION DE ESTE MATERIAL Y SU
AMISTAD, GRACIAS.

CONTENIDO

	Pag
1. Introducción.....	1
2. Principios de la desinfección de las aguas y aguas residuales.....	3
2.1. Ecuación de primer orden.....	5
2.2. Reacciones de primer orden retardantes y autocatalíticas.....	7
2.3. Teoría de la desinfección.....	10
2.4. Factores que influyen sobre la desinfección.....	13
2.4.1. Tiempo y concentración.....	13
2.4.2. Temperatura.....	15
2.4.3. pH.....	18
2.4.4. Materia orgánica.....	20
3. Métodos de desinfección de las aguas y aguas residuales.....	21
3.1. Métodos no químicos.....	23
3.1.1. Métodos térmicos.....	23
3.1.2. Radiación ultravioleta.....	23

3.1.3	Radiación Gamma y X	25
3.2.	Métodos químicos.....	26
3.2.1.	Cloro.....	26
3.2.2.	Floúr.....	27
3.2.3.	Bromo.....	28
3.2.4.	Iodo.....	29
3.2.5.	Ozono.....	32
3.2.6.	Peróxido de hidrógeno.....	34
3.2.7.	Permanganato.....	35
3.3.	Reactivos varios.....	36
3.3.1.	Metales pesados.....	36
3.3.2.	Acidos y bases.....	37
3.3.3.	Tensoactivos.....	37
4.	Métodos de desinfección con cloro y sus derivados.....	38
4.1.	Propiedades del cloro.....	38
4.2.	Propósitos de la cloración en el agua y agua residual.....	39
4.2.1.	Propósitos de la cloración en el agua potable...	39
4.2.2.	Propósitos de la cloración en el agua residual..	40
4.3.	Reacciones del cloro.....	45
4.3.1.	Efectividad viricida.....	49
4.3.2.	Cloraminas.....	50
4.3.3.	Cloración de ruptura.....	52
4.3.4.	Cloración residual libre.....	55
4.3.5.	Cloración residual-combinada.....	55
4.3.6.	Decloración.....	56
4.3.7.	Cloro disponible.....	56
4.4.	Derivados del cloro.....	58

4.4.1. Hipoclorito sódico.....	58
4.4.2. Cal clorada.....	58
4.4.3. Hipoclorito cálcico.....	59
4.4.4. Dióxido de cloro.....	59
5. Operación y mantenimiento de cloradores.....	61
5.1. Operación.....	63
5.1.1. Principios de operación.....	63
5.1.2. Paro de un clorador.....	64
5.1.3. Arranque de cloradores.....	65
5.1.4. Condiciones de operación.....	66
5.1.5. Problemas de operación.....	68
5.2. Mantenimiento.....	69
5.2.1. Mecanismos de control de flujo.....	69
5.2.2. Rotámetro.....	69
5.2.3. Válvulas de diafragma.....	70
5.2.4. Inyector.....	70
6. Conclusiones.....	71
Glosario.....	76
Bibliografía.....	87

1. INTRODUCCION

El agua es de suma importancia para la vida y las actividades del hombre como son el aseo personal y de la vivienda, el lavado de ropa y otros objetos de uso, también es importante en el riego, la ganadería, en la pequeña y gran industria que utilizan grandes cantidades de agua para diferentes fines como la producción de energía, el lavado o como disolvente, así como materia prima.

Como se puede ver la calidad del agua en todas estas actividades es primordial, aunque con variaciones dependiendo de cada actividad, por lo que las autoridades de saneamiento han establecido ciertas condiciones, tanto para el abastecimiento de agua potable como para la descarga del agua residual.

Para cumplir con las condiciones que las autoridades de saneamiento marcan, el agua potable y el agua residual deben recibir un tratamiento, la primera hasta obtener las condiciones para poder ser ingeridas sin ser dañina a la salud, y la segunda hasta cumplir con las condiciones de descarga. En ambos casos el tratamiento convencional no suele ser eficaz en la remoción total o parcial, según sea el caso, de organismos patógenos que atentan contra la salud del hombre o contaminan los cuerpos receptores de agua, por lo que es necesario desinfectar el agua.

Dentro de los métodos existentes para la desinfección del agua, el que mejor actúa contra los organismos patógenos y es más económico es la cloración de ahí la importancia de estudiar la forma en como reacciona el cloro con las sustancias contenidas en el agua, los productos que resultan de éstas reacciones y la forma en como actúan contra los organismos, así como su empleo durante los procesos de tratamiento.

En el capítulo dos "PRINCIPIOS DE LA DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES" se verá que la velocidad de una reacción química se puede expresar por medio de una ecuación diferencial de primer orden, y que éstas reacciones no siempre mantienen una velocidad constante, sino que existe una disminución o aumento de ésta, en tal caso se conocen como reacciones de primer orden retardantes y autocatalíticas, también que estas diferencias de velocidad se deben a ciertos factores como el tiempo,

temperatura, pH, y materia orgánica, además se verá la forma de evaluar las diferencias de velocidad.

En el proceso de desinfección la cloración no es el único método empleado, existen otros métodos que tienen diferencias entre ellos como con la propia cloración, todos tienen un fin común, la desinfección del agua y agua residual, por lo que en el capítulo tres **"METODOS DE DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES"** se mencionan los métodos no químicos; aquellos que utilizan reactivos químicos como los halógenos y reactivos diferentes de los halógenos y que se denominan métodos químicos y finalmente aquellos que emplean reactivos varios; así como sus ventajas y desventajas.

Aunque la cloración no es el único método de desinfección es el método que más se emplea, debido a su efectividad viricida y a su eficacia durante los diferentes usos en el tratamiento del agua, pero no hay que perder de vista las ventajas que ofrecen algunos métodos sobre la cloración (en el tratamiento de pequeños efluentes), aunque el empleo de éstos ocasionan costos más altos que la cloración. Por lo anterior en el capítulo cuatro **"METODOS DE DESINFECCION CON CLORO Y SUS DERIVADOS"** se estudiará con más detalle el cloro como desinfectante, sus propiedades, así como las reacciones que se tienen al agregar el cloro al agua y agua residual, como son la producción de cloraminas, la forma en que se obtiene cloro residual libre, cloro residual combinado y el cloro disponible. Cuando se ha agregado una cantidad excesiva de cloro al agua y ésta provoca olores y sabores desagradables, el residual indeseable se puede eliminar con la decloración, aspecto que tanto como los derivados del cloro serán tratados específicamente.

Debido a que la infraestructura destinada a mejorar la calidad del agua, constituye una elevada inversión y la responsabilidad de tener las eficiencias requeridas para cumplir con las condiciones que plantean las autoridades de saneamiento que son de gran importancia, se debe contar con el conocimiento de la correcta operación de los cloradores así como el mantenimiento adecuado que debe darse a los mismos, ya que éstos son parte de la infraestructura encargada del mejoramiento de la calidad del agua, por lo que en el capítulo cinco **"OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CLORADORES"** se mencionan algunas acciones que deberán seguirse cuando se presenta un paro o arranque de estos equipos, las condiciones de operación y los posibles problemas que pueden presentarse durante la operación, también el mantenimiento mínimo que debe darse al clorador.

En el capítulo seis se presentan las **"CONCLUSIONES"** del presente trabajo.

2. PRINCIPIOS DE LA DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES

A menudo las reacciones químicas de interés en ingeniería de aguas y aguas residuales son tan lentas que lo más importante de éstas no son las condiciones finales de equilibrio sino las velocidades a las que se realizan estas reacciones. Esto es cierto, por ejemplo, para los procesos de aireación, remoción de DBO, desinfección, cloración a punto de inflexión y digestión de lodos. El estudio de la dependencia del tiempo de estas operaciones, y de su variación con las condiciones, se encuentra dentro del campo de la cinética de las reacciones químicas, la ecuación tipo para estudios en cinética química es:

$$\pm \frac{dC}{dt} = K \phi (C) \quad (2.1)$$

Donde:

- C = Concentración del material en estudio.
- $\phi(C)$ = Alguna función de la concentración de las sustancias que intervienen en la reacción.
- K = constante específica de la velocidad de reacción, es independiente de las sustancias cubiertas por $\phi(C)$, pero puede depender de la temperatura, condiciones de la solución u otros factores desconocidos.

El signo positivo está asociado con la formación de material y el signo negativo con su destrucción o remoción.

Los procesos dinámicos simples se clasifican de acuerdo con el orden matemático de la ecuación específica de velocidad diferencial, de la forma de la ecuación (2.1). De acuerdo con lo anterior una reacción de primer orden es aquella que muestra una velocidad directamente proporcional a la concentración de una sola sustancia reaccionante.

Una ecuación característica para una reacción en la que se encuentra reaccionando la sustancia A es:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A \quad (2.2)$$

Existen dos tipos de reacciones de segundo orden. La primera corresponde a reacciones de los tipos $(A + A) \rightarrow \text{Productos}$ con una ecuación tipo de la forma:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k C_A^2 \quad (2.3)$$

La segunda corresponde a reacciones de los tipos $(A + B) \rightarrow AB$ (que es la ecuación estequiométrica para una reacción homogénea irreversible entre dos especies químicas) con una ecuación tipo de la forma:

$$-\frac{dC_{AB}}{dt} = k C_A C_B \quad (2.4)$$

6

$$\frac{dX}{dt} = k (C_0 - X)^2 \quad (2.5)$$

Donde:

C_{AB} se ha sustituido por X
 C_0 = Concentración inicial

Se dice que la ecuación (2.4) también corresponde a una reacción de primer orden con respecto a los reactivos individuales A y B.

Las reacciones de orden más elevado se define de modo similar aunque sólo ocurren rara vez. También se encuentran reacciones de

orden cero (Ciertas reacciones catalíticas para las que $-dC_x/dt=K$) y de orden fraccionario, y existen reacciones a las que no se aplica un concepto simple del orden.

Generalmente no es posible determinar el orden de una reacción química a partir de las ecuaciones químicas comunes, ya que la ecuación cinética depende de la trayectoria o mecanismos de la reacción y no simplemente de los materiales inicial y final. Por ejemplo, la descomposición del peróxido de hidrógeno se escribe generalmente como $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$, implica una reacción de segundo orden conforme a la ecuación (2.4 o 2.5); sin embargo, experimentalmente se observa que la reacción es de primer orden.

2.1 ECUACION DE PRIMER ORDEN

La ecuación de primer orden se utiliza principalmente para describir diferentes tipos de reacciones, incluyendo muchas que no son verdaderamente monomoleculares así como también las reacciones monomoleculares verdaderas.

Puede usarse para describir: (1) reacciones multimoleculares en las cuales las concentraciones de todos los reactivos excepto uno, permanecen esencialmente constantes; (2) procesos complejos como la DBO y procesos de desinfección para los cuales la velocidad puede representarse en forma aproximada por una ecuación de primer orden; y (3) ciertos procesos puramente físicos como la disolución de sólidos y gases en agua; todas estas descripciones siguen una expresión matemática general del tipo de primer orden similar a la que a continuación se muestra y que es una expresión de velocidad de primer orden para una reacción química:

$$r_t = \frac{dX}{dt} = KC = K(C_0 - X) \quad (2.6)$$

Donde:

- r_t = velocidad hacia la derecha (significa que existe la formación de materia y no remoción) dependiente del tiempo o velocidad de reacción
- K = constante de proporcionalidad independiente del tiempo o constante de velocidad de reacción hacia la derecha
- C = concentración del elemento
- C_0 = concentración del elemento en el tiempo $t = 0$
- X = concentración reaccionada (concentración del nuevo producto)

Una de las aplicaciones más conocidas de la ecuación de velocidad de primer orden, en el campo del agua y agua residual, es para describir la velocidad de desarrollo de la DBO. Las formas diferencial e integrada de la ecuación de DBO de primer orden, se escriben generalmente como:

$$\frac{dX}{dt} = K(X_w - X) \quad (2.7)$$

y

$$X = X_w(1 - 10^{-0.4343Kt}) \quad (2.8)$$

Donde:

X = DBO medida en cualquier tiempo

X_w = DBO última de primera-etapa

K = Constante de proporcionalidad independiente del tiempo,
o constante de velocidad de reacción.

para calcular la DBO última se debe recurrir a los métodos estadísticos o gráficos debido a que es una cantidad desconocida (Fair, 1936; Ludzack et. al., 1953; Moore et al., 1950; Thomas, 1937, 1940, 1950).

La expresión de primer orden también se utiliza para describir ciertos procesos puramente físicos en sistemas acuosos, tal como la disolución de una sustancia sólida en condiciones de mezclado perfecto. Considerando la disolución de un sólido con área superficial A en un volumen V de agua, la velocidad de acumulación de C en la solución está dada por la ecuación de balance material:

$$\frac{dC}{dt} = K_f \frac{A}{V} (C_w - C) \quad (2.9)$$

donde:

C_w = concentración de saturación en el equilibrio

C = Concentración en cualquier tiempo

K_f = Coeficiente de transferencia de masa

Otra situación en que se puede aplicar la expresión de primer orden, como ya se mencionó anteriormente, es para describir la progresión de un proceso bioquímico complejo, como la acción bactericida de un desinfectante, esta situación se verá más ampliamente en el subíndice 2.3.

2.2 REACCIONES DE PRIMER ORDEN RETARDANTES Y AUTOCATALITICAS

La ecuación de velocidad de primer orden se aplica para expresar modelos de velocidad de reacciones complejas, pero la forma elemental de esta ecuación es adecuada para describir el comportamiento observado solamente en un intervalo limitado de tiempo. Se aplica para expresar el desarrollo de una reacción compleja, la que puede tener varias etapas y ascenso ó descenso gradual de velocidad de progresión con el tiempo, desviandose de su comportamiento de primer orden. Un ejemplo de esto es la velocidad correspondiente a la DBO durante la oxidación del sustrato orgánico.

De ahí que se tiene una acción **retardante** cuando la velocidad disminuye con el tiempo, y una acción **autocatalítica** cuando se tiene un aumento de ésta. Las discrepancias entre los valores experimentales y los valores de una expresión de velocidad de primer orden se pueden intentar ajustar, aumentando o disminuyendo el valor calculado para la constante de velocidad, K ; aumentando esta desviación al aumentar el periodo de tiempo en que se toman los datos experimentales. Para poder acomodar (en forma empírica) las desviaciones graduales para las reacciones retardantes o autocatalíticas, se incorpora un factor de desplazamiento apropiado a la ecuación elemental de primer orden.

Cuando la acción es **retardante**, la ecuación de primer orden se modifica dividiendo la constante de velocidad por un factor que aumenta al incrementarse el tiempo. Escribiendo la ecuación de balance material para un sistema cerrado, e introduciendo el factor mencionado en la ecuación 2.6 tenemos:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k}{1+\alpha_r t} (C_0 - x) \quad (2.10)$$

Donde:

α_r = constante característica de la reacción

integrando la ecuación 2.10

$$\frac{k}{\alpha_r} \ln \frac{1}{1+\alpha_r t} = \ln \frac{C_0 - X}{C_0} \quad (2.11)$$

ó

$$X = C_0 [1 - (1 + \alpha_r t)^{-\frac{k}{\alpha_r}}] \quad (2.12)$$

Cuando la ecuación 2.12 se aplique a un conjunto de datos experimentales debemos de calcular el nuevo valor de la constante α_r , por medio de la aplicación de procedimientos estadísticos o gráficos (Fair, 1936; Ludzack et.al., 1953; Moore et al., 1950; Thomas, 1937, 1940, 1950).

Una reacción autocatalítica se acelera espontáneamente cuando el tiempo progresa; esta aceleración se ve afectada por la reacción catalítica de uno de los productos de la reacción. Por lo que la velocidad de reacción también dependerá del producto formado, es decir, la cantidad reaccionada, X; con lo que la ecuación de velocidad de primer orden se modifica obteniéndose la ecuación de velocidad diferencial.

$$\frac{dX}{dt} = k_1(C_0 - X) + k_2(C_0 - X)X \quad (2.13)$$

Donde:

$k_1(C_0 - X)$ = la ecuación elemental de primer orden.
 $k_2(C_0 - X)X$ = expresa el factor acelerador de la velocidad como resultado de una segunda constante de velocidad, la concentración restante de reactivo, y la cantidad que reacciona o concentración de producto formado.

El término añadido en el segundo miembro de la ecuación, aumenta geoméricamente con el tiempo hasta un valor máximo de $0.25C_0^2K_2$, y después disminuye de forma contraria a su aumento. Cuando $K_2 > K_1$, este comportamiento se reflejará en la velocidad de reacción global r_t , aunque la característica de descenso de r_t a partir de su valor máximo no será precisamente la contraria de su característica de ascenso hasta el valor máximo. La ecuación 2.13 integrada es

$$(k_1 + k_2 C_0) t = \ln \frac{C_0 (k_2 X + k_1)}{k_1 (C_0 - X)} \quad (2.14)$$

Esta ecuación describe los datos de velocidad que siguen el modelo general de forma-S indicado por la línea continua en la Figura 2.1.

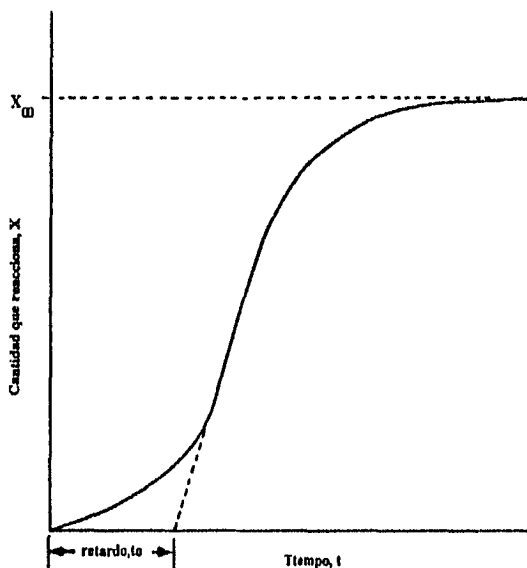


FIGURA 2.1 Curva de velocidad característica para una reacción autocatalítica

2.3 TEORIA DE LA DESINFECCION

En la mayor parte de las operaciones de desinfección, así como en los procesos físico-químicos, la destrucción e inactivación de los microorganismos ocurre lentamente, debido probablemente a que en estas reacciones se tienen diferentes etapas, de las cuales más de una puede determinar la velocidad de desinfección.

Debido a que se conoce muy poco sobre el número de moléculas de desinfectante necesarias para destruir un organismo simple, no se puede esperar un comportamiento cinético de una reacción monomolecular simple o bimolecular, para la destrucción o inactivación de los microorganismos vivientes. Sin embargo existe la posibilidad de describir empíricamente las velocidades globales para las reacciones de desinfección por medio de expresiones cinéticas simples (ec. 2.1 a 2.6), siempre y cuando los datos observados concuerden con estas expresiones; pero debe tenerse cuidado de no simplificar demasiado la interpretación de este proceso complejo simplemente por que los datos de velocidad observados puedan describirse por una expresión de velocidad relativamente simple.

La velocidad de destrucción de los microorganismos ha sido expresada por una ecuación cinética de primer orden conocida como ley de Chick. La cual establece que la velocidad de destrucción bacterial es directamente proporcional al número de microorganismos que sobreviven en un tiempo determinado, esta ecuación es la siguiente:

$$- \frac{dN^o}{dt} = K N^o \quad (2.15)$$

Donde:

$-dN^o/dt$ = velocidad de destrucción

K = constante de velocidad característica del organismo, sistema y el tipo de desinfectante usado,

N^o = Número de organismos por unidad de volumen que sobreviven a cualquier tiempo dado t .

integrando la ecuación 2.17 entre los límites $t=(0, t)$ y $N^o=(N_0^o, N^o)$

$$\ln \frac{N^o}{N_o^o} = -Kt \quad (2.16)$$

6

$$N^o = N_o^o e^{-Kt} \quad (2.17)$$

reajustando la ecuación 2.16 y convirtiendo a logaritmos decimales obtenemos:

$$t = \frac{2.303}{K} \log \frac{N_o^o}{N^o} \quad (2.18)$$

La ecuación 2.15 implica una susceptibilidad uniforme de todas las especies presentes para el desinfectante determinado, una concentración constante de desinfectante, ausencia de compuestos que puedan interferir y condiciones bien definidas en términos de los parámetros que puedan influir en la velocidad de reacción como son pH, temperatura, fuerza ionica.

Por lo anterior la ley de Chick es limitada en su aplicación a la mayor parte de las desinfecciones prácticas, ya que en la práctica la velocidad de destrucción aumenta o disminuye con el tiempo en lugar de permanecer constante, por lo que Rich (1963) ha propuesto una forma modificada de la ley de Chick para el caso de la destrucción bacterial por medio de cloro y se ajusta mejor a los datos experimentales que la ecuación 2.15, la forma modificada de la ley de Chick es la siguiente:

$$- \frac{dN^o}{dt} = K t N^o \quad (2.19)$$

donde el significado de los términos es el mismo que los de la ec.2.15 y t es cualquier tiempo dado.

El que la velocidad de destrucción aumente o disminuya con el tiempo depende del tipo de organismo y desinfectante usado. Un ejemplo de lo antes mencionado es el caso en que la difusión del desinfectante a través de las membranas es lenta y en la medida que la concentración del desinfectante dentro de las células aumente, la velocidad de destrucción se acelera contrariamente, una disminución de la velocidad de destrucción con el tiempo, se explica parcialmente por un aumento de la resistencia de la célula con el tiempo de contacto.

Otros factores de aplicación tales como competencia de las impurezas por el desinfectante (por ejemplo la formación de complejos u oxidación), pobre distribución del mismo y concentraciones localizadas de organismos pueden contribuir a una disminución de la velocidad con el tiempo de contacto.

Las desviaciones de la ley de Chick pueden describirse por medio de expresiones cinéticas de primer orden modificadas que incluyen los procesos cinéticos retardativos y autocatalíticos.

Cuando el proceso de desinfección tiene un comportamiento cinético catalítico, puede expresarse con la ecuación 2.13 en función de N° y N_0° con lo cual tenemos:

$$-\frac{dN^\circ}{dt} = k_1 N^\circ + k_2 N^\circ (N_0^\circ - N^\circ) \quad (2.20)$$

Donde:

$k_2 N^\circ (N_0^\circ - N^\circ)$ = Efecto acelerativo de la velocidad (ver inciso 2.2)

Y cuando la velocidad de destrucción de los microorganismos tienen un comportamiento retardativo, la ecuación 2.10 expresada en función de N° y N_0° tenemos:

$$-\frac{dN^\circ}{dt} = \left(\frac{K}{1 + \alpha_1 t} \right) N^\circ \quad (2.21)$$

$$N^\circ = N_0^\circ (1 + \alpha_1 t)^{-\frac{K}{\alpha_1}} \quad (2.22)$$

El coeficiente de retardo α , y las constantes de velocidad k , k_1 y k_2 son constantes específicas del sistema, cuyos valores dependen del desinfectante usado, temperatura, pH y tipo y condición del microorganismo (S). La Figura 2.2 es un gráfico del logaritmo del Porcentaje de E. Coli superviviente para distintas concentraciones iniciales de cloro como una función del tiempo de contacto y su cuadrado, e indica claramente desviaciones típicas de la ley de Chick (Fair et.al., 1968).

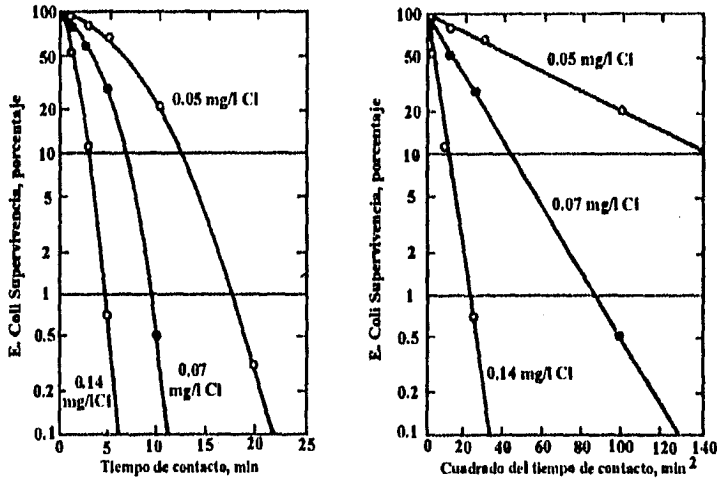


FIGURA. 2.2 Supervivencia de E. Coli en agua pura un pH 8,5 y 2-5°C. (Según Fair y col., 1968)

2.4 FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA DESINFECCION

2.4.1 TIEMPO Y CONCENTRACION

Los factores de tiempo y concentración deben considerarse como mutuamente ligados, pues, por medio de estos, se toma en consideración la duración del periodo de reacción disponible para la desinfección, así como la cantidad y clase de cloro residual, y debido a que las ecuaciones 2.15 a 2.22 sólo son válidas para un desinfectante específico y una concentración constante, la ecuación entre la concentración de desinfectante y el tiempo requerido para destruir un porcentaje determinado de organismos

viene dado por una expresión empírica:

$$C^n t = cte \quad (2.23)$$

Donde:

- t = tiempo requerido para destruir un porcentaje dado de organismos (min)
- C = concentración del desinfectante (mg/l)
- n = constante característica de un desinfectante dado o coeficiente de dilución.

En sistemas cinéticos de acuerdo con Van't Hoff, n representa una medida empírica del orden de la reacción con respecto a la concentración de desinfectante.

La Tabla 2.1 muestra las relaciones concentración-tiempo de cloro como ClOH a 0-6°C para una destrucción del 99% de E Coli y varios virus (Berg, 1964).

TABLA 2.1 FACTORES TIEMPO CONCENTRACION PARA EL ClOH
(Según Berg, 1964)

ORGANISMO	$C^{0.86}t_{99}$
Adenovirus 3	0.098
E.Coli	0.24
Virus Polimielitis 1	1.2
virus Coxsackie A2	6.3

La Figura 2.3 representa varios gráficos de la ecuación 2.23 para los datos dados en la Tabla 2.1. Esta figura indica claramente la variación de la relación concentración-tiempo para distintos organismos y un mismo desinfectante (ClOH). También ilustra la observación general de que muchos virus son más resistentes a los desinfectantes que el organismo indicador común E. Coli.

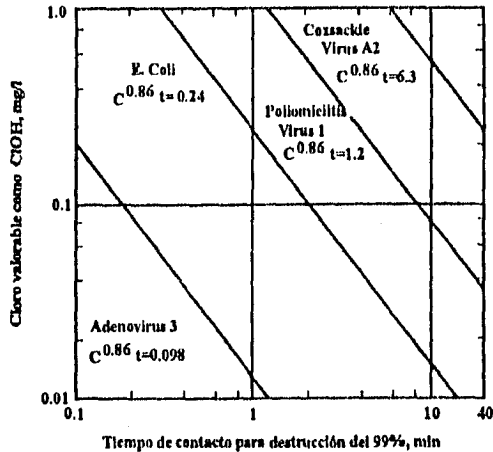


FIGURA. 2.3 Relación entre tiempo-concentración para la desinfección. Concentración de cloro como ClO₂ requerido para destruir el 99% de E. Coli y tres virus entéricos a 0-6°C. (Según Berg, 1964).

2.4.2 TEMPERATURA

La temperatura afecta de dos formas las velocidades de desinfección; la primera afecta directamente la acción bactericida por condiciones extremas de temperatura, ya que estas son totalmente diferentes a las condiciones ambientales normales para el organismo en cuestión; la segunda es que la temperatura puede afectar las velocidades de ciertos pasos de reacción implicados en los procesos de desinfección. Si por ejemplo, la difusión del desinfectante a través de las paredes celulares o su reacción química con los enzimas celulares controlan la velocidad, la temperatura afectará la velocidad de desinfección en tanto que afecte las velocidades de difusión y/o reacción química. Cuando la destrucción directa por calor no es un factor significativo, el efecto de la temperatura sobre las velocidades de desinfección pueden expresarse por la ecuación de Arrhenius:

$$K = A_f (e^{-E_a/RT}) \quad (2.24)$$

o en forma logarítmica

$$\ln K = \ln A_f - \frac{E_a}{RT} \quad (2.25)$$

Donde:

- K = constante de velocidad
- A_f = factor de frecuencia de Arrhenius
- E_a = Energía de activación
- R = constante universal de los gases
- T = Temperatura absoluta.

Rigurosamente, la ecuación de Arrhenius se aplica sólo a reacciones de una etapa o de etapa múltiple para las cuales la primera etapa es el controlante de la velocidad.

E_a determina la fracción del número total de moléculas que están suficientemente activadas a una temperatura dada para llevar a cabo la reacción; por lo que E_a es un determinante directo de la velocidad de una reacción química particular. Cuanto mayor sea E_a, más lenta será la reacción, por lo que es necesario examinar las posibilidades para ajustar su magnitud.

Hirschfelder (Gould, 1959) ha sugerido que la E_a es proporcional a la fuerza de enlace que debe romperse durante el paso que determina la velocidad de la reacción; mientras este concepto puede aplicarse a las reacciones homogéneas en fase gaseosa, se debe considerar que otros factores energéticos (por ejemplo, energía de solvatación) pueden contribuir fuertemente a la energía de activación para las reacciones en solución.

Debe tenerse en cuenta que aun cuando se tenga una energía libre altamente favorable, una reacción química dada no puede proceder a una velocidad práctica ni aun medible si la energía de activación (E_a) es suficientemente alta.

Si la ecuación 2.25 se valúa entre los límites (t₁, K₁) y (T₂, K₂) se obtiene:

$$\ln \frac{K_1}{K_2} = \frac{E_a (T_1 - T_2)}{RT_1 T_2} \quad (2.26)$$

Por lo que E_a puede calcularse directamente a partir de la ecuación (2.26), donde k se mide experimentalmente, para dos temperaturas diferentes.

Expresando la ecuación 2.26 en logaritmo de base 10

$$\log \frac{K_1}{K_2} = \frac{0.4343 E_a (T_1 - T_2)}{RT_1 T_2} \quad (2.27)$$

Cuando la temperatura varía en un intervalo de 10° o similar, como suele ocurrir en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de agua y aguas residuales, el término $0.4343 E_a / RT_1 T_2$, permanece razonablemente constante. Si aproximamos este término por la constante β° , la ecuación 2.27 se transforma en

$$\log \frac{K_1}{K_2} = \beta^\circ (T_1 - T_2) \quad (2.28)$$

donde T_1 y T_2 pueden expresarse en grados centígrados en vez de temperaturas absolutas, ya que la diferencia es la misma en ambos casos. Tomando antilogaritmos en la ecuación (2.28), se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{K_1}{K_2} = 10^{\beta(T_1-T_2)} = \beta^{(T_1-T_2)} \quad (2.29)$$

en donde $\beta = 10^{\beta_0}$. La expresión empírica de la temperatura dada por la ecuación 2.29 es útil para relacionar la temperatura con la velocidad de desinfección, usando β en vez de E_a , para designar al coeficiente de temperatura, se utiliza ampliamente en el campo del agua y agua residual. Sin embargo, debemos recordar que β no es una verdadera constante, y por lo tanto dependerá de las dos temperaturas sobre las que se value. En tal caso, la energía de activación, E_a , es el parámetro más empleado para caracterizar el efecto de la temperatura sobre una reacción fisicoquímica.

La ecuación 2.29 para una constante de velocidad de reacción a una temperatura, T , en función de la constante de velocidad a 20°C, se transforma en:

$$K_T = K_{20} \beta^{(T-20)} \quad (2.30)$$

Donde:

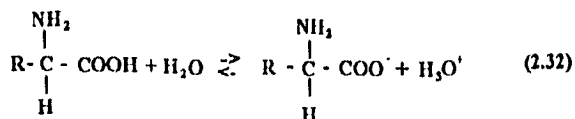
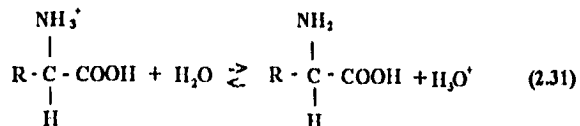
K_T = constante de velocidad para T
 K_{20} = constante de velocidad a 20°C
 β = constante empírica
 T = temperatura en °C

2.4.3 pH

La mayor parte de los microorganismos son destruidos por pH menores de 3 y mayores de 11, siendo resistentes a pH moderadamente ácidos o básicas (pH 4-10), bajo estas condiciones y en presencia de otro desinfectante, el pH ejerce un marcado efecto sobre la reactividad de los microorganismos o el desinfectante, o ambos a la vez.

Las bacterias exhiben cargas superficiales parecidas a las de los coloides; debido a los grupos funcionales de los compuestos químicos que componen las paredes de las células bacteriales. Las características de carga de estos microorganismos pueden

derivarse de los aminoácidos anfóteros siguientes:



Estos aminoácidos forman aniones en disoluciones básicas, cationes en disoluciones ácidas y moléculas neutras para un pH intermedio, generalmente en una región ligeramente ácida. Por lo que dependiendo de las condiciones del medio ambiente, las células biológicas pueden existir como entidades cargadas o neutras.

Debido a que los aminoácidos son los componentes estructurales básicos de la proteína, se ha teorizado que el carácter polar de los microorganismos se deriva del carácter iónico de los aminoácidos (Salle, 1961).

Las cargas superficiales de las células biológicas pueden influenciar en gran parte la atracción de las moléculas del desinfectante o iones, dependiendo de sus polaridades relativas. Además de este efecto electrostático, el pH puede afectar grandemente las reactividades químicas de las células y el desinfectante. Los efectos del pH en la desinfección con cloro se verán en el transcurso del capítulo 4.

2.4.4 MATERIA ORGANICA

Los microorganismos casi siempre coexisten con la materia orgánica en las aguas y aguas residuales. Los compuestos orgánicos son una fuente de energía para las bacterias heterótrofas, y son esenciales para mantener la vida de la célula. En tanto, que la materia orgánica aparece como producto de la descomposición y metabolismo de las células biológicas, la materia orgánica puede ejercer varios efectos sobre la eficacia de la desinfección, incluyendo (Sykes, 1958):

1. Ciertos compuestos orgánicos pueden adherirse a la superficie celular y evitar o retrasar el ataque del desinfectante.
2. El desinfectante puede reaccionar con especies disueltas formando complejos o compuestos de substitución que son menos efectivos.
3. El desinfectante puede oxidar la materia orgánica, reduciendo y perdiendo completa e irreversiblemente sus propiedades germicidas.

El tercer efecto es común para los desinfectantes: Halógenos, Ozono, permanganato potásico y compuestos similares de alta reactividad. Como la mayor parte de los desinfectantes que se utilizan en el tratamiento del agua y agua residual son agentes oxidantes fuertes que pueden causar interferencias debido a reacciones de oxidación con los compuestos orgánicos, se debe tener cuidado especial en su dosificación. Aunque las impurezas orgánicas representan las interferencias más importantes, ciertas especies inorgánicas son capaces de interacciones similares. Por ejemplo, las formas divalentes del hierro y manganeso, reducen al cloro, dióxido de cloro, permanganato, ozono y otros agentes oxidantes fuertes.

El retraso inicial en la destrucción bacterial corrientemente observado en la desinfección de las aguas naturales puede atribuirse a la presencia de sustancias orgánicas que reaccionan con el desinfectante.

3. METODOS DE DESINFECCION DE LAS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES

La forma en como la desinfección destruye los organismos depende de la naturaleza del desinfectante y del tipo de organismo; estas formas de desinfección no están totalmente demostradas pero existe evidencia de que la mayoría de los desinfectantes destruyen la proteína celular, por medio de la inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, que son esenciales para la vida microbiológica (Lawrence y Block, 1968). Esta inactivación puede llevarse a cabo de diferentes maneras dependiendo del tipo de desinfectante o proceso desinfectante.

La presencia y generación de enzimas dentro de la célula bacterial, sugiere que el mecanismo de desinfección implica, cuando menos dos pasos:

- (1) penetración del desinfectante a través de la pared celular;
- (2) reacción con los enzimas dentro de la célula (Fair et.al. 1968).

Lo anterior concuerda con la observación en experimentos en los que las moléculas neutras son capaces de penetrar más rápido las paredes celulares cargadas negativamente. Por lo que son un bactericida más efectivo que los iones, debido a que el paso aniónico a través de la pared celular puede contrarrestarse por la repulsión electrostática; en favor de esta hipótesis, está la observación experimental sobre la adsorción de cationes por las bacterias (Salle, 1961).

Los agentes químicos capaces de oxidar a los compuestos orgánicos pueden actuar como desinfectante por degradación química directa de la materia celular. Aunque el poder oxidante no es necesariamente una medida de la capacidad desinfectante. Por ejemplo, el agua oxigenada, tiene un poder oxidante muy grande y en cambio tiene propiedades bactericidas pobres.

La aplicación directa de energía calorífica, irradiación por onda corta, o disrupción ultrasónica producen la destrucción física de los microorganismos; un número considerable de compuestos

químicos orgánicos e inorgánicos ejercen efectos venenosos sobre los microorganismos, principalmente por interactuar con las proteínas enzimáticas o por cambios estructurales disruptivos dentro de la célula.

Debido a los iones H_3O^+ y OH^- los ácidos minerales y álcalis tienen una acción bactericida, y cuando se tienen concentraciones equimolares se cree que el ión H_3O^+ es un desinfectante más fuerte que el ión OH^- . Los agentes oxidantes fuertes como el ozono, permanganato y agua oxigenada pueden desinfectar por inactivación enzimática específica, o por oxidación degradativa del material celular. En tanto que el cloro y otros halógenos tienen acción desinfectante basada en la rápida inactivación enzimática. Ciertas sales como las de plata y mercurio precipitan la proteína celular destruyendo así la vida de la célula.

Dentro de los métodos de desinfección se encuentran los no químicos, los químicos, los basados en agentes oxidantes distintos de los halógenos y reactivos varios. En la Tabla 3.1 se muestra la subdivisión de los métodos mencionados.

TABLA 3.1 METODOS DE DESINFECCION

METODOS DE DESINFECCION	NO QUIMICOS	TERMICOS RADIACION ULTRAVIOLETA RADIACIONES GAMMA Y X
	QUIMICOS	HALOGENOS: CLORO FLUOR BROMO IODO AGENTES OXIDANTES DISTINTOS DE LOS HALOGENOS: OZONO PEROXIDO DE HIDROGENO PERMANGANATO
	REACTIVOS VARIOS	METALES PESADOS ACIDOS Y BASES TENSOACTIVOS

3.1 METODOS NO QUIMICOS

3.1.1 METODOS TERMICOS

Se basa en la aplicación directa de calor al agua alcanzando una buena desinfección; y una esterilización casi total cuando se expone a la ebullición; sin embargo, los microorganismos y virus tienen una resistencia térmica variable; como se puede observar en la Tabla 3.2 (Rahni, 1945).

TABLA 3.2 RESISTENCIAS RELATIVAS DE LOS MICROORGANISMOS Y VIRUS A LA ESTERILIZACION POR CALOR HUMEDO, REFERIDAS A LA RESISTENCIA DE LA *ESCHERICHIA COLI* COMO UNIDAD

FORMA	RESISTENCIA RELATIVA
E. COLI	1
ESPORAS BACTERIALES	3 000 000
ESPORAS DE HONGOS	2-10
VIRUS Y BACTERIOFAGOS	1-5

La desinfección por medio de calor para volúmenes grandes de agua no es recomendable debido a los grandes costos que esto implica.

La congelación del agua no ayuda a la desinfección del agua como se ha creído, ya que la congelación preserva las bacterias, sin embargo la congelación aplicada con una descongelación repetitiva destruyen las bacterias debido a estos cambios inducidos en la presión osmótica. Esta técnica para la desinfección es muy poco usual en el tratamiento del agua y agua residual.

3.1.2 RADIACION ULTRAVIOLETA

La destrucción de las bacterias que se realiza con este método se debe principalmente a la radiación o radiaciones de longitud de onda corta que se encuentra principalmente en la luz solar intensa o la luz artificial, la destrucción máxima ocurre a longitudes de onda comprendidas entre 2500-2650 Å.

Este método se emplea en aplicaciones industriales a pequeña escala y en el tratamiento de pequeños abastecimientos de agua,

ya que si se aplica en el tratamiento del agua y agua residual pública, el costo es elevado.

La radiación ultravioleta puede destruir una célula, retrasar su crecimiento o cambiar su herencia por medio de una mutación genética (Salle, 1961). Debido a que las proteínas tienen bandas de adsorción marcadas en la región del ultravioleta, se supone que los ácidos nucleicos de las células bacteriales adsorben la energía y se destruyen a continuación. Estos ácidos nucleicos comprenden (DNA) en el núcleo y (RNA) en el citoplasma. Para determinar cual de los tres efectos mencionados se llevará a cabo, dependerá de la cantidad de radiación y la parte de la célula que la reciba. Formas bacteriales distintas exhiben diferentes resistencias a la radiación ultravioleta, siendo las esporas más resistentes que las células vegetativas.

Para poder aplicar este método se deben cumplir ciertas condiciones como:

- 1) Asegurarse que la energía aplicada llegue a todo el volumen que se va a desinfectar; para lograr esto es necesario utilizar un vidrio especial o cuarzo, ya que el vidrio común atenúa casi completamente la energía.
- 2) Verificar que el agua no tenga concentraciones altas de sustancias disueltas y de NaCl y CO_2Na_2 , ya que estas atenúan la energía.
- 3) También se debe verificar que la concentración de hierro no exceda de 1 ppm, ya que aumenta drásticamente la adsorción por encima de un 80%.

Algunas de las ventajas que ofrece este método son:

- 1) Realmente no se añade nada al agua por lo que no cambia su calidad.
- 2) Después del tratamiento no se obtienen olores ni gustos cuando la radiación es utilizada en el tratamiento del agua potable.
- 3) Su mantenimiento es mínimo, su control es automático y sencillo, sin peligro a una sobredosis.

Las desventajas que tiene este método son:

- 1) No proporciona una protección residual contra la recontaminación en suministros de agua a gran escala.
- 2) Que la turbidez, algas y color constituyen barreras naturales a la penetración de radiaciones ultravioletas.
- 3) Costo elevado.

3.1.3 RADIACIONES GAMMA Y X

La radiación gamma es una radiación electromagnética de longitud de onda muy corta, es producto de la descomposición radioactiva, tiene un alto poder penetrante así como una gran capacidad para destruir la materia celular.

Uno de los elementos que contiene estos rayos es el Cobalto 60 que emite rayos Gamma de una gran energía; para estas energías la longitud de onda es una fracción de 1 Angström (1 MeV (mega electrón volts) corresponde a una longitud de onda de 0.01242 Å).

Uno de los dos mecanismos que operan en la destrucción de los microorganismos es la radiación directa de la célula, la cual produce reacciones de ionización dentro de las moléculas celulares que posteriormente las destruyen. Como efecto secundario los rayos gamma al interactuar con el agua produce átomos inestables, radicales libres y otras especies que pueden reaccionar con las moléculas orgánicas o causar efectos secundarios en las células vivas. Los rayos Gamma son muy eficaces contra los virus y esporas.

La unidad con que se expresa la dosis de radiación es el rad que es una abreviación de "dosis de radiación absorbida", éste representa 100 Ergs de energía absorbida por gramo. Si se le aplica al agua o agua residual de 100,000 a 150,000 rads, se logra destruir al 99% de los organismos presentes en ellas, excepto la bacteria B.Subtilis (Lowe y Col., 1956; Ridenour y Armbruster, 1956). Como la radiación Gamma es cara y además se debe tener cuidado especial al aplicarla, queda restringido su uso para productos de elevado valor por unidad de peso, tales como alimentos y drogas.

Los rayos X tienen propiedades bactericidas similares a los rayos Gamma (Clark, 1955). Los rayos X son producidos por bombardeo electrónico contra un obstáculo de metal pesado, colocado en un tubo de rayos X conectado a una bomba de vacío. Un aparato de rayos X puede reemplazar a una fuente de isótopos radiactivos,

actualmente para reducir el costo de la desinfección se ha sugerido que los residuos de un reactor nuclear se utilicen para este fin, en lugar de isótopos puros como el Cobalto 60 (Clark, 1955).

3.2 METODOS QUIMICOS

Como se ha visto, el tratar el agua y agua residual en volúmenes grandes con los métodos no químicos eleva los costos de este tratamiento, por lo que el emplear los reactivos químicos como ciertos metales pesados (plata, cobre, mercurio, cobalto, y níquel), ácidos minerales y bases, agentes superficialmente activos, halógenos, ozono, peróxidos y permanganato, hacen que su utilización sea una alternativa para el tratamiento de aguas y aguas residuales a costos bajos.

HALOGENOS

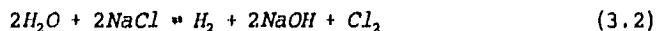
3.2.1 CLORO

El cloro elemental y sus derivados son los elementos más importantes para la desinfección en el proceso de tratamiento del agua y aguas residuales.

El cloro comercial se produce casi exclusivamente por oxidación anódica del cloruro sódico en solución acuosa:



En el cátodo se produce simultáneamente Hidrógeno e Hidróxido Sódico, con lo cual, el proceso total es más rentable.



El cloro gaseoso producido electrolíticamente guarda humedad por lo que se emplea un lavado con ácido sulfúrico para eliminar esta humedad, y cloro líquido para eliminar los hidrocarburos clorados y cloruro férrico, con lo que se obtiene una pureza mayor al 99.5%, el gas se licua por compresión a 1.76 kg/cm² y una temperatura entre -17.7 y -3.8°C y se envasa en cilindros de acero o tanque.

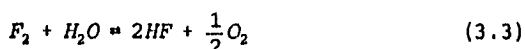
Debido a que el cloro es un agente oxidante fuerte reacciona con las sustancias reductoras para producir la demanda de cloro. El átomo del cloro al ganar electrones sufre un cambio a ion cloruro o a un cloruro orgánico, esto depende de la naturaleza de las sustancias que contenga el agua, estas sustancias reductoras pueden incluir Fe^{2+} , Mn^{2+} , NO_2^- y H_2S inorgánicos, junto con el material orgánico (viviente y muerto). Las sustancias inorgánicas reaccionan rápido y en forma estequiométrica; en tanto que el material orgánico reacciona de forma lenta y su grado de alcance depende de la cantidad de cloro disponible que se encuentre presente en exceso a la cantidad requerida.

En el abastecimiento de agua potable la materia orgánica está relacionada con su color o tinte natural, por lo que esto puede ser un indicador de su demanda orgánica probable de cloro. De la misma forma la demanda orgánica del cloro de las aguas residuales guarda una relación con su DBO, o más precisamente con su DQO.

Lo anterior nos indica que se debe agregar suficiente cantidad de cloro para llevar a cabo dichas reacciones, así como también las de desinfección. Para asegurar esto se toma como referencia los residuos de cloro remanentes después de un tiempo específico de contacto, en vez de las dosis iniciales de cloro. En la mayor parte de las pruebas se especifican diez minutos. La demanda de cloro es función de la temperatura, concentración y tiempo, por lo que para su determinación debe tomar en cuenta cada uno de estos tres factores, el cloro que efectúa realmente la desinfección constituye una parte de la demanda.

3.2.2 FLUOR

El fluor es capaz de oxidar el agua debido a que es el agente oxidante más fuerte,



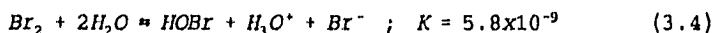
por ésta razón no es muy utilizado para la desinfección del agua, aunque se han utilizado el ácido fluorhídrico y los fluoruros como preservativos contra los hongos y para la eliminación de ciertos virus (Sykes, 1958), pero no hay evidencia que nos indique su efectividad bactericida para concentraciones bajas de estos bactericidas (<1.5 ppm como F).

3.2.3 BROMO

El bromo tiene un peso específico de 3.12 g/cm³ a 20°C lo que indica que es un líquido denso, de color pardo-rojizo, se solidifica a -7.3°C, hierve a 58.78°C y se disuelve muy bien en el agua.

No existe mucha información respecto a su efectividad bactericida. El bromo es más caro, en cuanto a su peso, así como su manejo respecto al cloro. Su fuerza oxidante y penetración celular está entre la fuerza de penetración del Cloro y el Iodo.

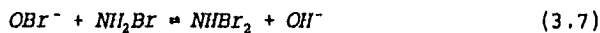
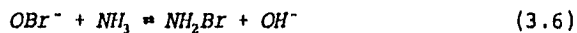
Cuando el Bromo se hidroliza en el agua, da como resultado ácido hipobromoso.



el que por protólisis se transforma en el ion hipobromito

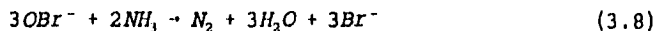


el bromo al reaccionar con el amoníaco del agua da monobromo y dibromoaminas



Pero no se forman una tribromoamina estable. Al parecer la dibromoamina en disolución está en equilibrio con la monobromoamina y el amoníaco.

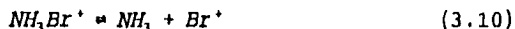
Si se le añade un exceso de bromo, el amoníaco se oxida.



La monocloramina no es un bactericida fuerte en cambio la monobromoamina si lo es casi tanto como el bromo libre. Debido a la presencia del ion monobromoamonio (NH_2Br^+) que se forma con la siguiente reacción.



La constante de equilibrio para la reacción similar de la monocloroamina es $K = 1 \times 10^{-1}$, lo que indica que para un pH = 7.5, menos de una millonésima de la concentración estará en forma de ion monobromoamonio. El ion (NH_2Br^+) tiene tendencia a desprender un átomo de bromo cargado positivamente el cual tiene propiedades oxidantes fuertes.



No es necesario efectuar la bromación hasta más allá del punto de ruptura debido a que la monobromoamina es un bactericida fuerte y la tribromoamina no se forma.

Su desventaja es que debido a que da productos irreversibles con la materia orgánica hay un consumo excesivo de Bromo provocando altos costos, además de existir formación de compuestos de sustitución de efectos fisiológicos desconocidos, por lo que estos son los principales factores que limitan el uso de bromo para purificar el agua y desinfección de las aguas residuales.

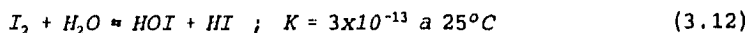
Hay evidencia que el efecto bactericida del Bromo es relativo ya que con 45 ppm se exterminan el 99.995% de las bacterias del grupo coliforme y este mismo efecto se consigue con 8 ppm de cloro.

3.2.4 IODO

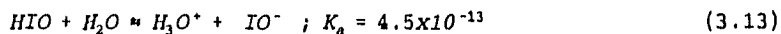
El yodo tiene un peso específico de 4.93 g/cm^3 a 20°C , color negro azulado, a temperatura ambiente (20°C) es el único halógeno que se encuentra en estado sólido cristalino, se funde a 113.6°C y hierve a 184°C , su disolución en el agua es poca (29 mg en 100 g de agua a temperatura ambiente) a menos que el ion de yoduro esté presente para que la reacción se lleve a cabo



Además se hidroliza en menor grado en el agua. La reacción de hidrólisis es



Entonces el ácido hipoyodoso se protoliza dando el ion hipiodito



Como indicó Black y Col. (1965), estas propiedades constituyen una ventaja ya que el iodo no reacciona indiscriminadamente con la materia orgánica y es relativamente estable en solución acuosa.

El efecto del pH en la hidrólisis del iodo según las ecuaciones 3.12 y 3.13 se muestran en la Tabla 3.3 (Chang, 1958).

TABLA 3.3 EFECTO DEL pH EN LA HIDROLISIS DEL IODO.

pH	I ₂ (%)	HIO (%)	IO ⁻ (%)
5	99	1	0
6	90	10	0
7	52	48	0
8	12	88	0.005

NOTA: Iodo residual total 0.5 p.p.m.

El iodo forma menos compuestos orgánicos de sustitución ofensivos, el tratamiento con iodo es recomendado después de que el agua ha sido desinfectada con cloro ya que con esta secuencia podemos obtener una protección más duradera contra los organismos

patógenos y disminuye los sabores y olores ofensivos causados por el cloro. En la Figura 3.1 se muestran los efectos viricidas del yodo para varios enterovirus (Laubusch, 1962).

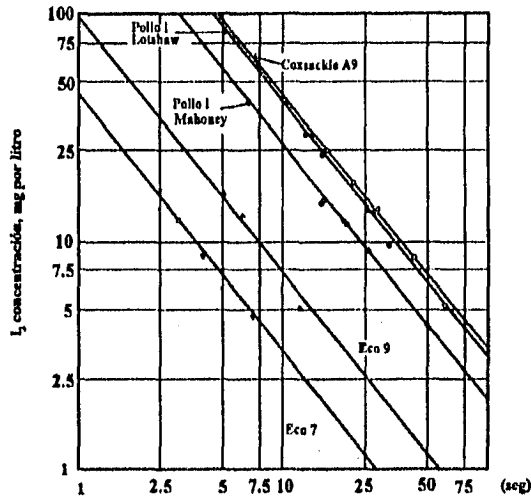
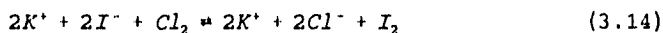


FIGURA. 3.1 Relación concentración-tiempo para una destrucción del 99% de los enterovirus por acción del yodo a 15°C. (Según Laubusch, 1962; reproducido con permiso de Proc. Third San. Eng. Conf., Univ. of Illinois.)

Como tratamiento después de la desinfección con cloro, el Iodo ofrece las siguientes ventajas sobre la cloración:

- 1) El yodo no se combina con el amoníaco para formar iodoaminas, sino que lo oxida; así como también oxida los fenoles. Por lo que requiere menos yodo para obtener un yodo residual libre.
- 2) El yodo y el IHO son buenos desinfectantes por igual.

El uso del yodo se ha empleado en la desinfección de aguas de piscinas debido a que depende menos del pH, temperatura, tiempo de contacto e impurezas nitrogenadas que el cloro, para efectuar esta desinfección, se añade una cantidad de Ioduro potásico en la piscina hasta obtener una concentración de 20 ppm, después se añade cloro gaseoso al sistema de recirculación con el fin de liberar Iodo diatómico, I_2



Según esta ecuación 1 ppm de Cloro nos da 3.6 ppm de Iodo libre, I_2 .

AGENTES OXIDANTES DISTINTOS DE LOS HALOGENOS.

3.2.5 OZONO.

El ozono (O_3) es una forma alotrópica del oxígeno que se produce al pasar oxígeno seco o aire por una descarga eléctrica (5000 a 20,000 V, 50 a 500 Hz).

Es un gas azul inestable, altamente tóxico, olor picante, es un poderoso agente oxidante (desde el punto de vista termodinámico y cinético), con propiedades bactericidas inmediatas superiores a las del cloro, blanquea el color, elimina el gusto, olor, hierro y manganeso, también es independiente del pH. Este proceso resulta más económico que la cloración, si se cuenta con energía barata, en estas condiciones el filtrado y la ozonización pueden dar un agua terminada similar a la que se produce por una planta más compleja que cuente con coagulación, sedimentación, filtración y cloración. Existen 2 procesos competitivos a raíz de las altas velocidades de reacción y las fuertes fuerzas impulsoras para las oxidaciones con ozono, estos procesos son, las reacciones con las impurezas químicas y el ataque a los microorganismos.

La destrucción de las células de E.Coli es más rápida con ozono que con cloro, una vez que la demanda inicial de ozono ha sido satisfecha, lo anterior se puede observar en la Figura 3.2. Ingols y Fether (1957).

La descomposición del ozono en el agua presenta el problema que el agua tratada con ozono puede recontaminarse debido a que no permite una protección prolongada como el cloro, esto es consecuencia de que el oxígeno es sólo ligeramente soluble

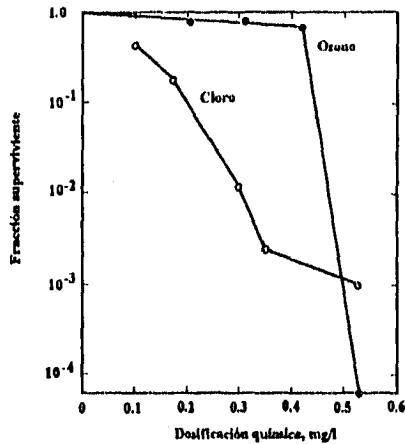


FIGURA . 3.2 Desinfección comparativa de E. Coli con cloro y ozono (Según Ingols y Feiner, 1957.)

en el agua y debido a su forma inestable no deja residual, también puede permitir el crecimiento de organismos patógenos, lo cual se evita con la adición de una pequeña cantidad de cloro después de la ozonización.

La forma en como actúa el ozono aunque no ha sido demostrada, algunos investigadores sostienen que funciona de forma similar al cloro (Stumm, 1958). Sykes (1958) propuso que la acción del ozono puede atribuirse a su capacidad para destruir la dehidrogenasa elaborada o unida a las células, por lo tanto interfiriendo con el proceso de respiración celular. La rápida velocidad de desinfección indican que la difusión del O_3 a través de las paredes celulares deben ser rápidas. También puede influenciar en el proceso de desinfección los productos de la descomposición del ozono, los radicales altamente reactivos ($OH \cdot$, $HO_2 \cdot$).

La desinfección con ozono tiene la ventaja de ser efectiva contra ciertos patógenos resistentes al cloro como, quistes y ciertas formas de virus (Stumm, 1958), elimina simultáneamente muchos

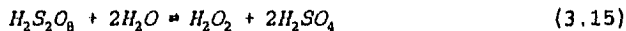
compuestos ofensivos, no comunica sabores y olores ofensivos, no produce sustancias tóxicas como los hidrocarburos clorados resultantes del proceso de cloración. Si se emplea la ozonización a una posterior cloración se obtiene una mejor calidad del agua, una mayor estabilidad del cloro y evita la formación de compuestos malolientes como los clorofenoles y otros compuestos clorados potencialmente tóxicos.

Las dos principales desventajas han sido que el costo de inversión del equipo es alto y que no proporciona una protección contra la recontaminación, por lo que se debe utilizar posterior a la ozonización, una cloración.

3.2.6 PEROXIDO DE HIDROGENO.

Los peróxidos son compuestos binarios que contienen mayores proporciones de oxígeno que los óxidos simples. El óxido simple del hidrógeno es el agua, H_2O . El peróxido de hidrógeno, H_2O_2 , es un líquido claro que tiene 2 átomos de oxígeno por molécula. Comparado con el ozono no es tan inestable y desde el punto de vista termodinámico es un agente oxidante más fuerte que el oxígeno elemental, pero no tan activo como el ozono. Si el agua contiene un pH alto su poder oxidante es mayor que el del Ozono (Fair y Col., 1968).

El peróxido se produce comercialmente por electrólisis del ácido sulfúrico. El principal producto anódico cuando se emplea un elevado potencial es el ácido persulfúrico $S_2O_8H_2$, éste ácido se hidroliza en dos etapas formando peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico.

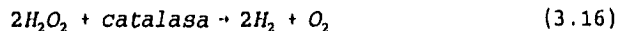


El peróxido se concentra por evaporación debido a que su presión de vapor es menor que la del agua.

Para obtener una acción bactericida deseada, el peróxido de hidrógeno debe administrarse en la cantidad adecuada. Y aunque tiene un alto poder oxidante generalmente es un desinfectante pobre (Schumb y Col., 1955), debido a la enzima catalasa.

El tiempo de retención mínimo del agua con una concentración de 1.5-5% de peróxido de hidrógeno es de 3 a 4 horas, con esta concentración da un sabor apreciable que debe eliminarse después del tiempo de retención; aunque el peróxido puede utilizarse para

destruir los gustos que ocasiona el Cloro. Se sabe que la mayoría de las bacterias producen peróxido en presencia de oxígeno libre (Salle, 1961). Se debe destruir el peróxido ya que es nocivo (tóxico) para las células, de lo cual se encarga la enzima catalasa (que producen las células), ésta tiene la capacidad de combinarse con el peróxido descomponiéndolo en agua y oxígeno.



Los organismos capaces de producir catalasa sobreviven y su producción enzimática puede descomponer al peróxido añadido. Por lo que el peróxido de Hidrógeno no es muy adecuado para la desinfección del agua en gran escala.

3.2.7 PERMANGANATO.

El permanganato potásico se utiliza en el tratamiento de aguas potables para el control de sabor, olor, elimina los compuestos inorgánicos como el hierro, manganeso y ácido sulfhídrico (Reidies, 1963). Es un agente oxidante fuerte, reacciona extensivamente con la materia orgánica y ciertas especies orgánicas contenidas en el agua, exhibe propiedades desinfectantes notables, tiene la desventaja que la velocidad con que termina con el E.Coli es pequeña comparada con la del cloro y ozono cuando las disoluciones de fuerza iónica es comparable entre estos métodos.

Cuando se utiliza el permanganato para la desinfección del agua disminuye y en ocasiones elimina la necesidad de una precloración o cloración intermedia. En cuanto a costo es más caro que el cloro. Sin embargo se aplica en concentraciones bajas. Tienen la ventaja al igual que el ozono que no produce compuestos de sabor y olor ofensivo y/o de toxicidad potencial.

3.3 REACTIVOS VARIOS.

3.3.1 METALES PESADOS.

Los metales pesados que tienen buenas propiedades bactericidas son la plata, el cobre, el mercurio, el cobalto y el níquel.

La plata es el único metal pesado empleado en la desinfección del agua potable debido a que tiene una eficacia razonable como desinfectante.

La forma en como los metales pesados terminan con las bacterias no están totalmente demostrado, pero se ha supuesto que se debe a la reacción de los iones metálicos con la materia celular ocasionando la coagulación de las proteínas (Frobisher, 1957).

Una concentración de ion plata de 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ ó 0.015 ppm puede acabar con la mayor parte de los organismos en un tiempo suficiente (Fair y Col., 1968). Cuando se utiliza la plata como desinfectante se emplean concentraciones mayores y tiempos menores. Para destruir la bacteria E.Coli (Sykes, 1958) basta con tener una concentración entre 0.006 ppm y 0.5 ppm con tiempos de contacto de 24 a 2 horas respectivamente. La concentración de ion plata que no es tóxico al hombre y no comunica sabor al agua es de 0.001 ppm (Clark y Viessman, 1965).

Debido a que la solubilidad de las sales de plata es baja, el uso de estas sales como desinfectante es seguro.

Tanto el cobre como el mercurio tienen buenas propiedades oligodinámicas. El ion Cobre en forma de sulfato cúprico se utiliza como alguicida en el tratamiento de los suministros de agua, además de ser un fuerte bacterioestático, pero relativamente ineficaz como bactericida y casi totalmente ineficaz para las esporas, también tiende a precipitarse en aguas ligeramente alcalinas por lo tanto pierde su efectividad.

El mercurio destruye las células humanas así como los microorganismos, por lo que no se utiliza para el tratamiento del agua potable. El principal problema con los metales pesados es que tienden a reaccionar con la materia orgánica tanto de las aguas y aguas residuales, formando complejos y/o precipitando el metal, lo que afecta la acción bactericida.

Existen dos procedimientos de aplicar los iones de la plata para la desinfección del agua. Una consiste en añadir una sal plata al agua, aunque la solubilidad de la mayor parte de las sales de plata excepto el nitrato de plata, es pequeña, la concentración que se obtiene es suficiente para la mayor parte de las

desinfecciones. El otro consiste en aplicar un potencial eléctrico a unos electrodos de plata o recubiertos por plata que están inmersos en el agua. Los iones de plata se producen por electrólisis ; se requieren pocos voltios. Y controlando la corriente, se obtiene la velocidad requerida para la producción de iones deseada.

3.3.2 ACIDOS Y BASES.

Los ácidos y bases tienen efectos tóxicos cuando el agua tiene un pH inferior a 3 y superior a 11, tales efectos se deben principalmente a la concentración de iones hidrógeno o hidróxilo que al tipo de ácido o base mineral. Cuando se tiene un incremento de la basicidad o la acidez, este incremento coincide con un incremento de la fuerza iónica y la presión osmótica ocasionando la destrucción de las células bacterianas. En la práctica la desinfección del agua y agua residual por la adición deliberada de ácido o base no se usa, más bien es inherente a otros procesos de tratamiento como el ablandamiento por cal-sosa. Sin embargo la eficiencia desinfectante de algunos desinfectantes químicos depende del pH, y constituye una variable importante en la mayoría de las desinfecciones del agua.

3.3.3 TENSOACTIVOS.

Los agentes tensoactivos catiónicos, han sido utilizados en medios acuáticos obteniendo una buena destrucción bacterial (Fair y Col., 1968), los medios acuáticos empleados fueron efluentes de lavado y agua de lavado de restaurantes y operaciones médicas. La forma en que teóricamente estos agentes tensoactivos actúan sobre los microorganismos es que los tensoactivos son adsorbidos selectivamente en las superficies de las células (debido a que los microorganismos exhiben una carga negativa en el agua) bloqueando sus actividades metabólicas.

4. METODOS DE DESINFECCION CON CLORO Y SUS DERIVADOS.

La cloración de las aguas negras consiste en la aplicación de cloro para lograr un propósito determinado, mientras que para los abastecimientos públicos de agua, la cloración representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada.

El cloro puede ser aplicado en el tratamiento del agua, en forma de gas o como solución, ya sea sólo o junto con otras sustancias químicas; en el tratamiento del agua residual puede ser aplicado también como hipoclorito de sodio o calcio los que al disolverse en el agua desprenden cloro. El que más se utiliza tanto en el tratamiento del agua como del agua residual es el cloro gaseoso ya que es más económico que los otros, aunque los hipocloritos se utilizan cuando los requerimientos de cloro son pequeños.

Independientemente de su forma de aplicación, la cantidad o dosificación se regula mediante aparatos especiales llamados cloradores, clorinizadores, en su caso hipocloradores y otros similares, la selección del equipo depende, de cada instalación en particular.

4.1 PROPIEDADES DEL CLORO.

El cloro elemental fue descubierto por Karl Wilhelm Scheele (1742-1786, boticario y químico Sueco). Constituye el segundo miembro de la séptima columna de la tabla periódica. Una capa externa de 7 electrones rodea su núcleo. Debido a que su estructura posee una gran estabilidad, los átomos tienen una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para completar una capa de ocho. Esta tendencia se manifiesta así misma como una tendencia oxidante. Por tanto, el cloro elemental es un poderoso agente oxidante y funciona como tal en la mayor parte de sus reacciones químicas. El cloro elemental reacciona con la mayoría de los elementos y compuestos, principalmente con materiales orgánicos. A temperaturas y presiones ordinarias, el cloro es un gas amarillo verdoso, además de ser muy tóxico. Bajo ciertas condiciones cuando entra en contacto con ciertos compuestos o

elementos puede ocasionar explosiones. Se puede almacenar con seguridad en cilindros de acero siempre y cuando éste no entre en contacto con agua, ya que bajo estas condiciones es corrosivo para los metales. Otras propiedades del cloro en las fases gas líquido, se pueden observar en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1 ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL CLORO

TEMPERATURA CRITICA	143.5°C
PRESION CRITICA	76.1°C
DENSIDAD CRITICA	0.57g/cm ³
PESO ESPECIFICO (LIQUIDO)	1.57g/cm ³ a -34°C
PUNTO DE EBULLICION (LIQUIDO)	-34°C
PUNTO DE SOLIDIFICACION (LIQUIDO)	-102.4°C
SOLUBILIDAD EN AGUA	7300 mg/l a 20°C y 1 atm.

Una disolución acuosa saturada de cloro forma un sólido con ocho moléculas de agua llamada hielo de cloro (Cl₂.8H₂O) a una temperatura de 9.56°C o inferior, por lo que el agua a ser desinfectada debe tener una temperatura entre 10 y 26.6°C.

4.2 PROPOSITOS DE LA CLORACION EN EL AGUA Y AGUA RESIDUAL

4.2.1 PROPOSITOS DE LA CLORACION EN EL AGUA POTABLE

El cloro se emplea en el tratamiento del agua: (1) como desinfectante, para destruir o atenuar los microorganismos de significado sanitario; (2) para la oxidación, con objeto de modificar a propósito el carácter químico del agua a la que se aplica, ó (3) tanto en la desinfección como en la oxidación. De hecho, el carácter tóxico del cloro y de algunos de sus compuestos es atribuible en gran medida a su capacidad de oxidación, aunque dicha capacidad no sea necesariamente una medida de la eficacia germicida.

La desinfección es el principal propósito de la cloración en el agua potable. En términos de desinfección y cloración se consideran generalmente cada vez más como equivalentes, aunque el cloro pueda emplearse específicamente por sí solo o como parte integrante de otro tratamiento para lograr o contribuir a que se logren otros propósitos distintos de la desinfección.

4.2.2 PROPOSITOS DE LA CLORACION EN EL AGUA RESIDUAL

El cloro es agregado al agua para diferentes propósitos entre ellos encontramos:

1) DESINFECCION

La cloración para desinfección requiere que esencialmente sean destruidos todos los organismos patógenos en el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Para lograr una desinfección, debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro y dejar un cloro residual que destruya a las bacterias. Así que la desinfección de las aguas negras se define arbitrariamente como la adición de cloro suficiente para dejar 0.5 mg/l o p.p.m. de cloro residual a los 15 minutos de su aplicación; si por algún motivo se deben considerar otras condiciones de descarga, se deberán realizar experimentos con los que se determine la cantidad de cloro residual para cumplir con las condiciones de descarga requeridas.

El control práctico de la cloración para desinfección consiste en medir el cloro residual por medio de la prueba ortotolidina. De esta forma los resultados de la prueba pueden obtenerse en pocos minutos y ajustarse los aparatos a una velocidad de alimentación adecuada.

En plantas pequeñas de aguas residuales (<4000m³/d) el operador no tiene tiempo de comprobar con frecuencia el cloro residual para ajustar con la misma frecuencia la velocidad de alimentación del cloro. Por lo anterior la alimentación de cloro se ajusta una vez al día, de manera que se obtenga el cloro residual deseado a gasto máximo, generalmente coincide con la máxima demanda de cloro, en la mayoría de las plantas ocurre cerca de las 10:00 a.m. Así durante todo el día será mayor de 0.5 p.p.m. el cloro residual, aunque se desperdicia cloro, las pérdidas monetarias no son altas y el operador tiene seguridad en la desinfección.

En plantas grandes (40,000 m³/d) el desperdicio de cloro sería significativo por lo que se sugiere elaborar un programa de dosificación del cloro varias veces al día, en el que se garantice en todo momento el cloro residual requerido.

Aunque el cloro residual de 0.5 ppm es generalmente eficaz, no es una norma, sino solamente una guía que en caso de ser necesario debe ajustarse a los requerimientos locales

En plantas más grandes existen mecanismos que ajustan automáticamente la dosificación de cloro en razón proporcional al gasto de aguas negras, de manera que sólo resta hacer un ajuste manual cuando cambia la demanda de cloro.

Generalmente se observa que en aguas residuales domésticas de composición media, se tienen las dosificaciones de cloro mostradas en la Tabla 4.2 las cuales son suficientes para producir un cloro residual adecuado para la desinfección.

TABLA 4.2 DOSIFICACIONES DE CLORO A EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES

TIPO DE TRATAMIENTO	DOSIFICACION (basada en un gasto medio de diseño) (mg/l ó p.p.m.)
EFLUENTE DE TRATAMIENTO PRIMARIO	20-25
EFLUENTE DE FILTROS GOTEADORES	15
EFLUENTE DE PLANTA DE LODOS ACTIVADOS	8
EFLUENTE DE FILTROS DE ARENA	6

2). PREVENCIÓN DE LA DESCOMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

a) Control de olores

Los problemas de olores surgen donde las alcantarillas son largas o con poca pendiente, también cuando se requiere almacenar las aguas residuales en taques para después bombearlas a una planta de tratamiento.

La cantidad de cloro que se requiere, varía de acuerdo con el tiempo que tenga que retardarse la descomposición de las aguas residuales; se debe agregar el cloro suficiente para eliminar el olor y hacer que sea más lenta la descomposición bacteriana, esta dosis es aproximadamente de 4 a 6 p.p.m. El cloro se puede aplicar en cualquier lugar en que haya un problema de olor por aguas residuales, la dosis que se aplica es para destruir las sustancias reductoras y así disminuir la velocidad de descomposición.

La precloración se utiliza cuando las aguas residuales llegan sépticas a la planta de tratamiento o cuando la planta es nueva y los tiempos de retención en los tanques primarios son grandes debido a que el gasto es menor que el de diseño, y consiste en aplicar cloro al influente de los tanques de sedimentación primaria, la dosificación para el primer caso es mayor que la del segundo siendo ésta de 2 o 5 p.p.m.

Cuando se realiza solamente un tratamiento primario es frecuente que se combinen la prevención del olor y la desinfección, la dosis de precloración es suficiente para obtener un cloro residual desinfectante.

b) Protección de las estructuras de la planta

Las aguas negras pueden llegar hasta la producción de ácido sulfhídrico, si esto ocurre en una estación de bombeo, en las alcantarillas interceptoras o en la planta de tratamiento puede ocasionar corrosión, ésta puede dañar y debilitar las estructuras, obligando a paralizar la planta para su reparación. Generalmente el problema es de aspecto económico aunque también deben considerarse otros factores como la naturaleza tóxica del ácido sulfhídrico. Para evitar o destruir el ácido se debe aplicar cloro en los lugares en que se tenga este problema. Si no se lleva un control riguroso de laboratorio, su dosis puede determinarse por tanteos procurando utilizar la menor cantidad de cloro que baste para resolver el problema local, no es necesario destruir todo el ácido sino solamente disminuir su concentración hasta 1 o 2 p.p.m. de modo que la cantidad que se desprenda sea mínima.

c) Espesamiento de los lodos

El exceso de lodos activados o los lodos propios de las aguas negras que entran a la planta, pueden ser concentrados en los tanques de retención o en espesadores, antes de bombearse al digestor. Parece ser que manteniéndose un cloro residual de 1.0 mg/l en el líquido sobrenadante de los tanques de retención o en los espesadores, se impide que los lodos se vuelvan sépticos durante el período de retención. El cloro se aplica a los lodos de alimentación para que se ponga en contacto con todo el contenido del tanque.

3). MEJORAS EN LA OPERACION DE LA PLANTA

a) Sedimentación

La precloración del influente de un tanque de sedimentación, rara vez se practica para obtener una mejor sedimentación. Generalmente ese beneficio va ligado al uso de la precloración para lograr algún otro propósito. Sin embargo, cuando se puede escoger el punto de aplicación del cloro, conviene tener presente que por regla general se logra una mejor sedimentación y se obtienen lodos más pesados cuando se practica la cloración en el influente.

b) Filtros goteadores

Para evitar los olores desagradables que se producen cuando se distribuye el agua sobre el filtro, se agrega cloro al influente del tanque primario (sedimentador primario), cuando no es posible la cloración se puede realizar en el tanque dosificador, ésta dosificación debe ser menor de 0.5 p.p.m. para no interferir con la actividad de los organismos vivos que son encargados del tratamiento.

Cuando existe taponamiento de los filtros se puede deber: (1) al excesivo desarrollo de organismos filamentosos, el cual se soluciona con una cloración continua del influente del filtro. (2) a una sobrecarga, aunque la cloración es benéfica por el momento, no será un remedio.

Cabe señalar que si el estancamiento se debe al material fino proveniente de la desintegración de piedras, la cloración no resolverá el problema.

Se acostumbra aplicar el cloro a un filtro estancado por medio de cloración en el tanque dosificador, de manera que haya cloro residual de 1 a 2 p.p.m. en los pulverizadores. La cloración se continua hasta que el filtro funciona correctamente. Puede haber alguna deficiencia en la purificación que se lleva a cabo en los filtros durante la cloración; por lo que cuando los filtros trabajen normalmente debe suspenderse la cloración. Frecuentemente no vuelve a haber taponamientos mientras no se repitan las causas que provocaron el taponamiento, una causa puede ser una alta temperatura que origina el desarrollo excesivo de organismos. En algunas instalaciones se requiere clorar durante 2 semanas al mes, en época de calor, para mantener los filtros en buen funcionamiento y en otras instalaciones se practica la cloración continua.

c) Abultamiento de los lodos activados

Cuando el abultamiento de los lodos es causado por una sobrecarga, se logra disminuir la carga en el proceso de aeración por medio de una precloración, la cual se realiza en el influente del tanque de sedimentación primario de modo que se tenga un cloro residual de 0.1 p.p.m. en el efluente de éste. Para lograr un mejor control los lodos activados que se recirculen, deben recibir una precloración, el punto de aplicación debe localizarse donde los lodos de recirculación permanezcan por espacio de 1 minuto antes de que entren en contacto con el influente del aerador. La dosificación de cloro con base en las variaciones del índice volumétrico de los lodos y se puede calcular de la siguiente manera:

$$IVL \times F \times W \times 0.0000001 = \text{Kg de cloro por día}$$

Donde:

IVL = Índice volumétrico de los lodos en ml/g
F = Lodos recirculados en mld
W = Sólidos suspendidos en los lodos recirculados, en p.p.m.

En general la cloración de lodos abultados hará disminuir el índice volumétrico de los lodos, pudiendo entonces ir disminuyendo la dosificación hasta que se corrija el abultamiento. En algunos casos la dosificación intermitente mantiene un bajo índice volumétrico de los lodos recirculados; en otras se ha comprobado que es más satisfactoria la cloración continua de los lodos recirculados. Lo normal es que cuando se inicia la cloración de los lodos recirculados, aumenta la turbiedad del efluente de la planta, pero después de unos cuantos días de operación disminuye nuevamente hasta su condición normal.

d) Espumamiento en un tanque Imhoff

La adición continua de 3 a 15 mg/l de cloro, a las aguas negras crudas que entran a un tanque de Imhoff, se ha usado ocasionalmente como auxiliar en el control del espumamiento.

4). DISMINUCION O DEMORA DE LA DBO

Una cloración de las aguas residuales crudas, que produzca un cloro residual de 0.2 A 0.5 p.p.m. después de 15 minutos de contacto, puede hacer que disminuya en 15 a 30% la DBO de las aguas negras. Cuando se sobrecargan las unidades de una planta, se usa la cloración para disminuir la carga hasta que se pueda disponer de medios para un tratamiento adicional, pues el uso de cloro para disminuir la DBO no resulta económico, el cloro también se usa cuando la carga es intermitente, como sucede cuando se recirculan los líquidos sobrenadantes de los digestores y cuando una planta recibe descargas intermitentes de desechos industriales.

Ocasionalmente se clora el efluente de una planta hasta lograr cloro residual, para demorar o disminuir la carga de DBO en las aguas receptoras, durante periodos en que la corriente sea demasiado escasa. Generalmente, mientras mayor sea el cloro residual menor será la carga, pero hay que tratar de impedir que los peces mueran por la acción del cloro, aunque cuando se use este procedimiento, es probable que los peces ya hayan desaparecido debido a las bajas concentraciones de oxígeno.

4.3 REACCIONES DEL CLORO

Para determinar en qué etapas del proceso de tratamiento del agua y agua residual debe aplicarse el cloro, así como la cantidad para lograr el propósito que se desea, es necesario saber que efectos produce al agregarlo al agua y agua residual.

Como se ha mencionado el cloro es una sustancia sumamente activa que reacciona con muchos compuestos, dando productos muy diversos. En general si se agrega una cantidad pequeña de cloro, ésta se consumirá al reaccionar rápidamente con el ácido sulfhídrico, el hierro ferroso y los nitritos, lo que indica que no se logra ninguna desinfección; en cambio si se agrega una cantidad un poco mayor a la que se necesita para reaccionar con estas sustancias (conocidas como compuestos reductores), el cloro restante reaccionará con la materia orgánica formando compuestos orgánicos clorados que tienen una ligera acción desinfectante. Para lograr una buena acción desinfectante basta con agregar la cantidad suficiente de cloro para reaccionar con los compuestos reductores y materia orgánica y un poco más para que actúe sobre el amoníaco u otros compuestos nitrogenados produciendo cloraminas u otras combinaciones del cloro que tienen acción desinfectante.

Actualmente no se conoce el mecanismo exacto con que el cloro lleva a cabo la acción desinfectante, sin embargo existen teorías que asumen que el cloro ejerce acción directa sobre la célula bacteriana provocando su destrucción, otra teoría admite que el cloro al ser tóxico inactiva las enzimas, que son de las que dependen los microorganismos para la utilización de sus alimentos, provocando que mueran.

La cantidad de cloro a administrarse para un propósito determinado, depende de la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua o agua residual. Por lo que la demanda de cloro se define como la cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas y es igual a la cantidad que se agrega menos la que permanece como cloro residual después de un período de contacto seleccionado que generalmente es de 10 minutos para el agua potable y 15 para el agua residual (según se mida con la prueba de la ortotolidina), siendo ésta última cantidad la que realiza la desinfección y que está expresado en miligramos por litro (mg/l), o partes por millón (ppm).

El cloro residual puede existir como compuestos clorados de materia orgánica y amoníaco, en cuyo caso se conoce como "cloro residual combinado"; puede estar presente como cloro libre el cual se conoce como "cloro residual libre"; puede estar al mismo tiempo como combinado y como cloro residual libre en este caso se conoce como "cloro residual total". Por lo que cloro suficiente es la cantidad requerida para producir un residual deseado, ya sea combinado, libre o total, después del período de contacto definido

En la Figura 4.1 se muestra una representación gráfica típica de las reacciones del cloro en el agua y agua residual, ésta curva se conoce como "Curva de demanda del cloro".

Cuando se añade cloro o sus compuestos desinfectantes al agua, se desprenden las siguientes sustancias:

1. Acido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito (OCl^-), y cloro elemental (Cl_2). La distribución de las tres especies depende del pH. El cloro elemental, procedente del cloro gaseoso, sólo perdura durante un momento pasajero dentro de la zona del pH normal, las dos especies prevalentes (HOCl y OCl^-) se denomina en la práctica cloro libre disponible.

2. Monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2), y tricloruro de nitrógeno (NCl_3). El amoníaco o el nitrógeno orgánico, son esenciales para la producción de estos compuestos. Nuevamente la distribución de estas especies es una función del pH. El tricloruro de nitrógeno no se forma en cantidades significativas

dentro de la zona normal de pH, excepto cuando se aproxima al punto de quiebre (breakpoint). A las dos especies prevalentes, NH_2Cl y NHCl_2 , se les llama en la práctica cloro disponible combinado.

3. Cloraminas orgánicas complejas especialmente en las aguas residuales.

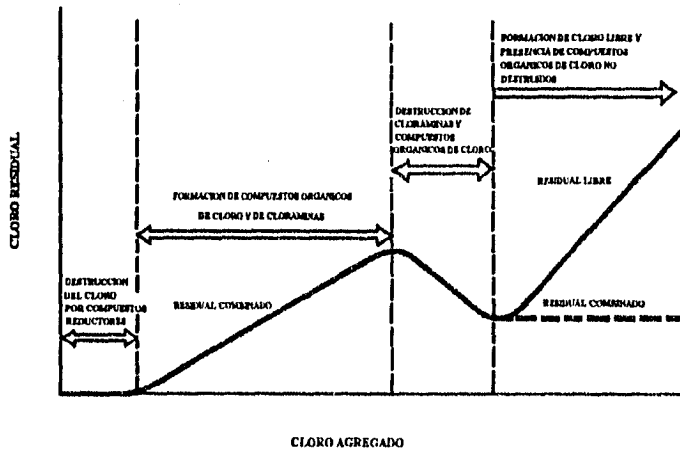
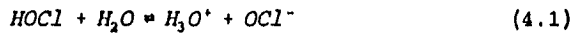


FIGURA. 41 Reacciones del cloro en el agua y agua residual

El comportamiento químico del ácido hipocloroso (formado por hidrólisis del cloro) es muy importante para el proceso de desinfección; éste ácido es un ácido débil, el que por protólisis da:



Para ésta ecuación la constante de protólisis o ácida, K_a , es:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][OCl^-]}{[HOCl]} = 2.5 \times 10^{-8} \text{ a } 20^\circ\text{C} \quad (4.2)$$

Como se puede observar en la Tabla 4.3 el valor de K_a , depende de la temperatura.

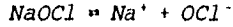
TABLA 4.3 CONSTANTE PROTOLITICA DEL ACIDO HIPOCLOROSO

TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$)	0	5	10	15	20	25
$K_a \times 10^8$ (moles/litro)	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7

La molécula de HOCl es un desinfectante más fuerte que el ion hipoclorito, por tanto, la distribución relativa de estas especies según el pH es de interés práctico para las operaciones de desinfección. Para cualquier pH, el porcentaje total de cloro presente como HOCl puede calcularse por medio de la ecuación 4.2 escrita de la siguiente forma:

$$\% [HOCl] = \frac{100}{\frac{K_a}{[H_3O^+]} + 1} \quad (4.3)$$

Se ha observado que la dependencia de la eficacia de la desinfección con el pH, está íntimamente relacionada con la dependencia de la distribución de las moléculas de HOCl y el pH (Fair et al., 1968). La Figura 4.2a indica que al aumentar el pH debemos incrementar la dosificación de cloro libre y el tiempo de contacto. El ion hipoclorito es resultado de la disociación de las sales hipoclorito en una disolución acuosa diluida.



(4.4)

El ion hipoclorito puede reaccionar a su vez con un protón dando el ácido hipocloroso, como lo indica la ecuación 4.1. Para tener mayor efectividad bactericida, se pueden emplear conjuntamente los hipocloritos y el ácido, para aumentar el porcentaje de cloro presente como HOCl.

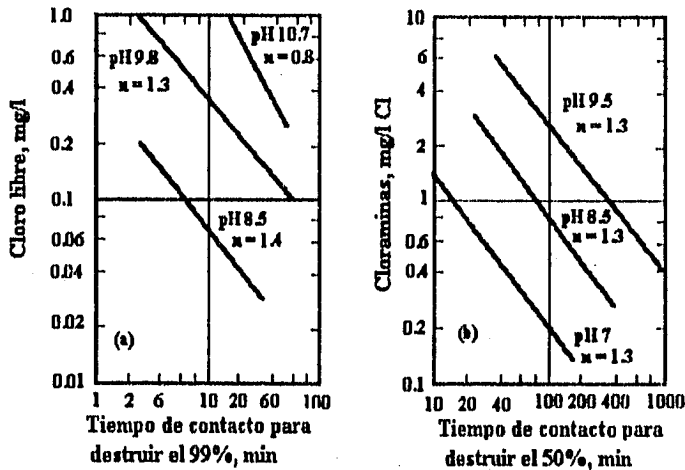


FIG 4.2 Relaciones tiempo-concentración en la desinfección (a) Concentración de cloro disponible libre necesario para destruir el 90% de E. Coli a 25°C (b) Concentración de cloro disponible combinado necesario para destruir el 50% de E. Coli a 2-5°C. (Según Fair y col., 1968).

4.3.1 EFECTIVIDAD VIRICIDA

Los primeros estudios del cloro sobre los virus indicaron que 1 p.p.m. de cloro y 30 minutos de tiempo de contacto no lograban exterminar por completo el virus de la hepatitis infecciosa que se encontraba en las aguas superficiales contaminadas, a menos que hubiesen sido tratadas con anterioridad (Neefe y Col. 1945-47).

Posteriormente se analizó un agua libre de virus Coxsackie, control preciso del pH, tiempo de contacto, temperatura y análisis del virus, confirmaron que se requería una concentración de cloro libre de 7 a 46 veces mayor que para la bacteria E.Coli (Clarke y Kabler, 1954). Weidenkopf (1958) encontró que la inactivación del virus polio I seguía una reacción cinética de primer orden en presencia de un exceso de desinfectante, tal como predice la ley de Chick. A bajo pH la inactivación era muy rápida debido a que la concentración de HOCl es predominante. Clarke y col (1964), concluyeron que el virus de la polio I y el Coxsackie son más resistentes al HOCl que E.Coli. Shuval y Col (1966), investigaron el efecto viricida en la cloración del efluente de una planta de filtros percoladores rápidos, observando que diferentes cultivos puros de virus mostraron velocidades diferentes de inactivación. El virus polio I resultó ser más resistente a la inactivación que la bacteria E.Coli o el virus Eco9.

No existe base teórica sobre la que se pueda deducir que los enterovirus y las bacterias tengan la misma susceptibilidad al cloro. El cloro ataca a la bacteria por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos; en los enterovirus no se lleva a cabo ninguna actividad enzimática y por lo tanto debe aplicarse un mecanismo que implique consideraciones diferentes.

4.3.2 CLORAMINAS

Como ya se mencionó el amoníaco está corrientemente presente en las aguas residuales, piscinas y pueden encontrarse trazas en algunos suministros de agua. Cuando se tienen aguas que requieren altas cantidades de cloro, se añade amoníaco a éstas, antes, durante o inmediatamente después de la cloración, con el fin de obtener un cloro residual más estable. Según el pH, el amoníaco puede estar presente como amoníaco (NH_3 ó NH_4OH) o como ion amonio, NH_4^+ . Y al reaccionar el cloro con el amoníaco o ion amonio forma cloraminas que son la monocloramina (ClNH_2), la dicloramina (NHCl_2) y la tricloramina o tricloruro de nitrógeno (NCl_3) estas tres representan las distintas formas de cloro combinado. Esta última forma de cloro combinado es el causante de la irritación de los ojos en aguas de baño cloradas, además de no ser estable para las condiciones de pH que prevalecen en las aguas naturales.

Se ha llegado a deducir que debido a que el ácido hipocloroso y el amoníaco participan en un rápido equilibrio ácido-base; por lo que la formación de cloraminas puede deberse a una reacción de especies iónicas, reacciones de especies neutras o por reacción de especies neutras e iones.

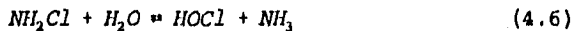
Las velocidades de formación de cloraminas y la proporción de monocloramias (NH_2Cl) y dicloraminas (NHCl_2) producidos dependen principalmente del pH y la proporción de reactivos empleados (ácido hipocloroso:amoníaco $\text{HOCl}:\text{NH}_3$).

Su distribución según Morris (Fair y col., 1968) depende principalmente de las velocidades relativas de formación de estos compuestos. Para proporciones molares de cloro a amoníaco no superiores a la unidad, la formación de NH_2Cl predomina y sigue una ecuación cinética de segundo orden:

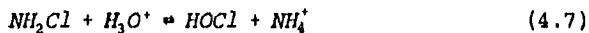
$$\frac{d[\text{NH}_2\text{Cl}]}{dt} = K [\text{NH}_3] [\text{HOCl}] \quad (4.5)$$

El valor máximo de la velocidad de reacción se obtiene para un $\text{pH}=8.3$ y disminuye para pH mayores o inferiores. Para la formación de dicloraminas cabe esperar una situación similar con una velocidad óptima para un pH ligeramente inferior. El poder desinfectante de las cloraminas medido como tiempo de contacto preciso para un porcentaje de destrucción dado, es menor que el del cloro.

Es razonable considerar que las propiedades bactericidas de las cloraminas están basadas en el ácido hipocloroso formado por hidrólisis; reacción indicada por las siguientes ecuaciones:



6



Este equilibrio está desplazado hacia la izquierda, como lo indican las velocidades de desinfección más bajas obtenidas por las cloraminas. Aunque las velocidades de desinfección de las cloraminas sean más altas a pH bajos (Figura 4.2 b).

En la Figura 4.3 se muestran curvas que definen las concentraciones residuales recomendadas de cloro libre y combinado para efectos bactericidas y quisticidas en las aguas y

aguas residuales en función del pH (Laubusch, 1962).

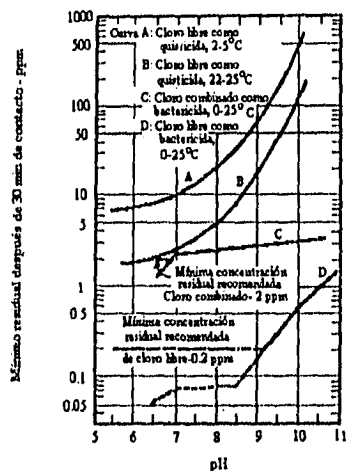


FIGURA 4.3 Concentraciones mínimas residuales de cloro como dosis de quiticidas y bactericidas (Según Laubusch, 1962)

4.3.3 CLORACION DE RUPTURA

Si las aguas y aguas residuales contienen compuestos nitrogenados como el amoníaco y los compuestos amino, y son cloradas, al reaccionar el cloro con estos compuestos, se presentan algunos problemas.

En la Figura 4.4 se muestra una curva llamada breakpoint (ruptura), la cual depende de la manera de reaccionar del cloro con el amoníaco.

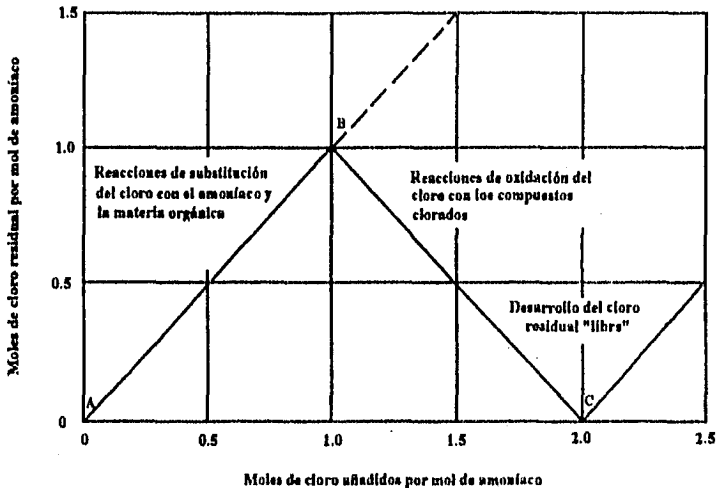


FIGURA 4.4 Curva de ruptura idealizada

Entre los puntos A y B se forman mono y dicloraminas, su cantidad es función del pH. El pico (punto B) ocurre para una proporción molar unidad de Cl_2 a NH_3 . Entre B y C la concentración residual de cloro disminuye, debido a la degradación oxidativa de las cloraminas. El punto C llamado "punto de ruptura" corresponde a una proporción molar Cl_2 a NH_3 de 2:1 una posterior adición de cloro nos da cloro libre residual disponible. El hecho que se necesiten dos moles de cloro por mol de amoníaco para degradar a las cloraminas nos da la idea que la naturaleza del proceso en base a una reacción (según la estequiometría observada), implica la conversión del amoníaco a nitrógeno gas (Palín, 1950). Según Morris (Fair y col., 1968) la degradación del NHCl_2 sigue un esquema, según el cual se forma un compuesto intermedio NOH que pasa finalmente a óxido nítrico, NO .

El principal objetivo de esta cloración al punto de ruptura, en el tratamiento del agua, es asegurar una desinfección efectiva al satisfacer primeramente la demanda de cloro del agua. En el tratamiento del agua residual, esta cloración nos da un sistema

para eliminar el amoníaco, el cual mediante este proceso se convierte en una forma gaseosa oxidada. La demanda de cloro puede deberse a sustancias que se presentan generalmente en las aguas y aguas residuales como pueden ser: H_2S , Mn, Fe^{2+} , NH_3 , entre otros y sustancias orgánicas como fenoles, aminoácidos, hidratos de carbono y proteínas.

Al clorar los fenoles se forman clorofenoles que son nocivos desde el punto de vista olor, esto no sucede con los aminoácidos, ya que reaccionan en forma similar al amoníaco dando aminoácidos clorados.

Borchard (1965) ha indicado que los aminoácidos de peso molecular más elevado que la glicina son resistentes a la oxidación, por lo que permanecen en el agua tratada como aminoácidos clorados, algunos de estos aminoácidos clorados (leucina y norleucina) además de tener mal olor han sido sujetos a la pregunta sobre sus efectos potenciales a largo plazo en la salud pública, lo que introduce un nuevo aspecto a considerar en las prácticas de precloración de los suministros de agua potable contaminados y en la cloración de las aguas residuales que se descargan en las aguas de pesca; ya que Ingols y Gaffney (1964) han mostrado que los compuestos orgánicos clorados se acumulan en el tejido graso del pez, y por lo tanto pueden digerirse en cantidades notables. Para eliminar los compuestos orgánicos clorados, se utiliza frecuentemente carbón activado, o una oxidación con ozono o permanganato, antes de la cloración. La adsorción con carbón activado también puede emplearse después de la precloración para eliminar los compuestos orgánicos clorados. Una adición simultánea de carbón y cloro no es efectiva ya que el cloro reacciona químicamente con el carbón. Por lo tanto, en algunos casos particulares el uso del cloro no es el agente desinfectante deseado a menos que se disminuyan las sustancias orgánicas por medio de una oxidación con ozono o permanganato antes de la cloración. El rendimiento del cloro como desinfectante es máximo para aquellas aguas que están relativamente libres de sustancias químicas que puedan oxidarse, y que por lo tanto ejercen una demanda de cloro.

Las curvas de ruptura para las aguas naturales que contienen materia orgánica son menos definidas que la mostrada en la Figura 4.4, el punto de ruptura no puede identificarse fácilmente.

Mientras la reacción del cloro con el amoníaco (óptima entre pH 6.5 y 8.5) es total a 30 minutos, la reacción del cloro con sustancias orgánicas puede llevar varias horas para su conclusión; provocando varios problemas al querer mantener una concentración residual de cloro satisfactoria. Por lo que la eliminación de las impurezas orgánicas por oxidación o adsorción antes de la cloración, parece ser la solución más razonable del problema.

4.3.4 CLORACION RESIDUAL LIBRE

La cloración residual libre se alcanza rápidamente cuando se tienen demandas bajas de cloro en el agua. Para aguas con cantidades grandes de contaminantes reductores, la cloración residual libre puede llevarse más allá del punto de ruptura. Si en una planta de tratamiento se mantiene una concentración residual de cloro libre, minimiza el crecimiento de microorganismos y lodos en los filtros de arena y en las cámaras de sedimentación. El cloro libre facilita la oxidación y eliminación de agentes inorgánicos reductores (como H_2S , Mn^{2+} , Fe^{2+}) y algunas veces mejora el comportamiento a la coagulación de ciertas aguas.

4.3.5 CLORACION RESIDUAL-COMBINADA

Este tipo de cloración se aplica después de la desinfección. Debido a que el cloro residual que está combinado con el amoníaco formando cloraminas es menos reactivo que el cloro libre, por lo tanto permanece durante largos períodos de tiempo posteriores a la cloración, el cloro residual combinado se utiliza principalmente por que:

1. Controla las algas y posterior crecimiento bacterial.
2. Reduce los problemas de oxidación.
3. Administra una protección bactericida del agua potable.

Las formas de tener una cloración residual-combinada son:

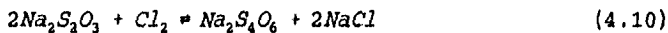
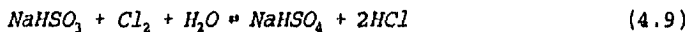
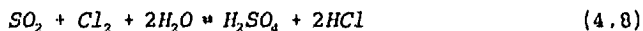
Si el agua tiene una concentración baja o nula de amoníaco se le agrega amoníaco y cloro a la vez para alcanzar una concentración residual combinada; esta operación se le llama *cloraminación*. En caso de que el agua contenga amoníaco suficiente sólo resta adicionarle cloro para tener la concentración residual combinada deseada. Si el agua, contiene cloro residual libre se acostumbra adicionar amoníaco para tener una concentración de cloro residual combinado más persistente, tal como la que tiene lugar después del punto de ruptura o durante la cloración.

Actualmente la cloraminación se realiza también con el fin de evitar la formación de clorofenoles (malolientes) cuando se desinfecten aguas que contengan fenoles, esto se debe a que las cloraminas no reaccionarán con los fenoles en la forma que lo hará el cloro libre.

4.3.6 DECLORACION

Cuando se han agregado cantidades considerables de cloro al agua, ya sea para acelerar la desinfección antes de que el agua sea consumida o para destruir olores y sabores, los residuales indeseables se pueden eliminar por medio de la decloración. Algunos métodos de decloración son: la adición de productos químicos reductores, el paso a través de lechos de carbón granulado activado y la aireación a pH adecuado, aunque este último método no es tan efectivo, debido a que su efectividad disminuye al aumentar el pH, causa del hipoclorito no volátil.

Los agentes reductores comúnmente empleados para la decloración son anhídrido sulfuroso SO_2 , bisulfito sódico, $HNaSO_3$, y sulfito sódico, SO_3Na_2 . El tiosulfato sódico, $Na_2O_3S_2$, se utiliza generalmente para declorar muestras de agua antes de realizar los análisis bacteriológicos. La cantidad de agente reductor preciso para reducir el exceso de cloro puede obtenerse a partir de las siguientes ecuaciones estequiométricas:



4.3.7 CLORO DISPONIBLE

Debido a que se emplean una variedad de compuestos clorados en el tratamiento del agua y agua residual, se sugiere que se establezca una base común sobre la cual pueda compararse el contenido relativo de un ingrediente activo, este ingrediente se mide como cloro disponible. Debido a que la reducción del cloro y la mayor parte de sus derivados da en último término ion cloruro, la cantidad de cloro dentro de un compuesto, que tenga un estado de oxidación mayor que el estado de oxidación del ion cloruro (-I) se refiere como activa o "cloro disponible".

Así el cloro elemental, Cl₂, con un estado de oxidación cero y no conteniendo materia inerte se define como 100% cloro disponible.

Para calcular el porcentaje de cloro disponible de un compuesto distinto del cloro elemental, debe establecerse el estado de oxidación del cloro dentro de este compuesto.

La Tabla 4.4 muestra los porcentajes de cloro disponible en una serie de compuestos clorados.

TABLA 4.4 CLORO ACTUAL Y DISPONIBLE EN COMPUESTOS PUROS QUE CONTENGAN CLORO

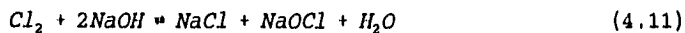
COMPUESTO	PESO MOLECULAR	CLORO EQUIVALENTE (MOLES DE Cl ₂)	CLORO ACTUAL (%)	CLORO DISPONIBLE (%)
Cl ₂	71.0	1	100.0	100.0
Cl ₂ O	87.0	2	81.7	163.4
ClO ₂	67.5	2.5	52.5	260.0
NaOCl	7.5	1	47.7	95.4
CaClOCl	127.0	1	56.0	56.0
Ca(OCl) ₂	143.0	2	49.6	99.2
NaClO ₂	90.5	2	39.2	157.0
HOCl	52.5	1	67.7	135.4
NHCl ₂	86.0	2	82.5	165.0
NH ₂ Cl	51.5	1	69.0	138.0

Para medir el contenido de cloro activo el método empleado es la oxidación del yoduro potásico en medio ácido, seguido por una valoración del yodo liberado con tiosulfato. Los resultados se expresan en términos del porcentaje de cloro disponible (yoduro oxidable). Sin embargo debe considerarse que para condiciones distintas a las del ensayo, la misma cantidad de cloro no puede ser suficiente para la oxidación. Por lo que para el porcentaje de cloro disponible, al igual que el potencial de oxidación, no es un indicador concluyente de la posibilidad o extensión de una reacción redox; y mucho menos indicador positivo de la eficacia de la desinfección.

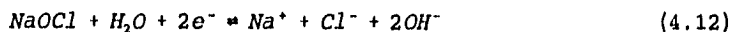
4.4 DERIVADOS DEL CLORO

4.4.1 HIPOCLORITO SODICO

El hipoclorito es una de las formas en que puede manejarse el cloro, se puede obtener por medio de la reacción del cloro con el hidróxido sódico en disolución acuosa.



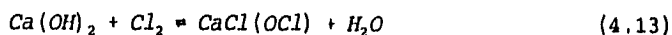
Pueden obtenerse disoluciones de hipoclorito con un 5-16% en peso de cloro disponible, por combinación del cloro anódico con el NaOH catódico generados en la electrólisis de salmueras, como son soluciones relativamente inestables, pueden contener inhibidores. El NaOCl exhibe una reacción alcalina en el agua y al reducirse forma iones cloruro e hidroxilo:



El hipoclorito sódico alcalino se emplea como desinfectante para plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales a pequeña escala y como oxidante para destruir a los cianuros presentes en las aguas residuales industriales. El NaOCl comercial no es competitivo con el cloro líquido para desinfecciones en gran escala pero dependiendo del pH y el modo de operación puede obtenerse a partir del cloro líquido, en el lugar de aplicación.

4.4.2. CAL CLORADA

También es conocida como polvo blanqueador o cloruro de cal, se obtiene por la reacción del cloro con la cal:



Como este compuesto es relativamente inestable, debe adquirirse en pocas cantidades conforme se vaya necesitando. Por lo general el producto químico disponible en el comercio contiene de 25 a 37% de cloro disponible en peso, consistiendo el resto de material inerte. Existen algunos productos disponibles en el comercio de hipoclorito de calcio, tales como HTH, PERCLORON, CCH, entre otras, que contienen de 65 a 75% de cloro, en peso.

Estos productos son más estables que el cloruro de cal y se deterioran menos rápido durante el almacenamiento. Sin embargo, su costo es comparativamente mayor. La cal clorada es similar al NaOCl en sus propiedades y aplicaciones.

4.4.3. HIPOCLORITO CALCICO (ClO)₂Ca

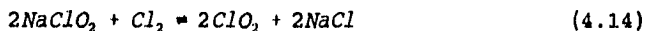
Este derivado tiene un mayor contenido en cloro disponible (pureza comercial, 70-80%, teórica 99.2%), y se conoce como "higt test hipoclorite" (HTH).

Su fabricación es más complicada que la de la cal clorada, y por tanto el precio unitario por unidad de cloro disponible como se mencionó anteriormente es mayor; además de ser más estable que la cal clorada. Todos los hipocloritos incluyendo el de sodio son compuestos análogos; realmente son sales del ácido hipocloroso, HOCl, y en solución acuosa dan HOCl y OCl⁻, cuya proporción relativa depende en todos los casos del pH.

Al seleccionar entre los distintos productos comerciales se debe considerar el costo por unidad de cloro disponible, propiedades de manejo, estabilidad y solubilidad de los productos de reacción, por ejemplo el ácido hipocloroso y las sales cálcicas pueden producir cantidades sustanciales de lodo, CO₂Ca y/o Ca(OH)₂, esto no ocurre con el hipoclorito sódico.

4.4.4. DIOXIDO DE CLORO

El dióxido de cloro es un gas inestable, por lo que se genera en el lugar de aplicación por reacción del cloro con el clorito sódico,



se obtienen 1.9 p.p.m. de dióxido de cloro por reacción de 1 p.p.m. de cloro con 2.5 p.p.m. de clorito sódico. Se le considera un buen desinfectante (Clark y Viessman, 1965). Se emplea en el

tratamiento del agua para controlar el sabor y olor. Su eficacia bactericida es constante para un pH entre 6 y 10 todo lo contrario al cloro, también es un buen esporicida, la desventaja que presenta es su alto costo.

Es un oxidante más fuerte que el cloro; no se combina con el amoníaco y la mayor parte de impurezas orgánicas antes de su oxidación, lo cual es una ventaja en el control del sabor y olor. El dióxido de cloro también se emplea para la oxidación de sulfuros, hierro y manganeso (el manganeso es algunas veces resistente al cloro), sobre éstas reacciones se ha publicado muy poco.

5. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE CLORADORES

Los sistemas de desinfección con cloro, constan de tanques de almacenamiento de cloro comprimido, evaporadores para gasificar el cloro líquido, cloradores para dosificar el cloro gas, inyectores para extraer el cloro gas y transportarlo en forma de solución al punto de aplicación, difusores y dispositivos para mezclarlo con el agua y agua residual, y una cámara de contacto donde se efecta la desinfección.

Los cloradores son dosificadores de gas que operan bajo vacío producido por el flujo de agua a través de un aspirador tipo inyector. La unidad acarrea y mide el cloro gas bajo vacío y mezcla el gas con el agua del inyector para producir una solución de cloro.

Las condiciones hidráulicas de la instalación deben ser tales que el inyector pueda producir al menos un vacío de 12.7 cm de mercurio. Si la distancia entre el clorador y el inyector excede de 7.6 m, el tamaño de la tubería requerida se calculará para obtener un vacío al menos de 15.3 cm de mercurio en el módulo.

La principal ventaja de los cloradores tipo vacío es la seguridad que se tiene ya que si por algún motivo se produce una falla o ruptura en el sistema de vacío, el clorador para el flujo de cloro al equipo permitiendo la entrada de aire al sistema de vacío a dejar que el cloro escape al ambiente. Este tipo de cloradores puede ser de montaje en pared o gabinete. Los montados en la pared, o sobre el recipiente de almacenamiento, se ofrecen en capacidades que van de 0.46 a 226.8 kg/día. Los gabinetes se encuentran en capacidades de 1.36 a 3628.8 kg/día.

La tasa de dosificación del clorador puede controlarse automáticamente. Los tipos más usados de control automático están basados en el flujo de agua y el cloro residual, aunque puede tenerse un sistema de control compuesto variado: (1) la posición de la válvula de dosificación en forma proporcional al flujo y (2) la diferencia de vacío a través de la válvula reguladora de vacío en función del cloro residual.

Un clorador de vacío consta de: válvula reguladora de presión, válvula reguladora de vacío, rotámetro, válvula de ajuste de tasa de flujo, válvula de alivio de presión-vacío e inyector; esto se puede observar en la Figura 5.1

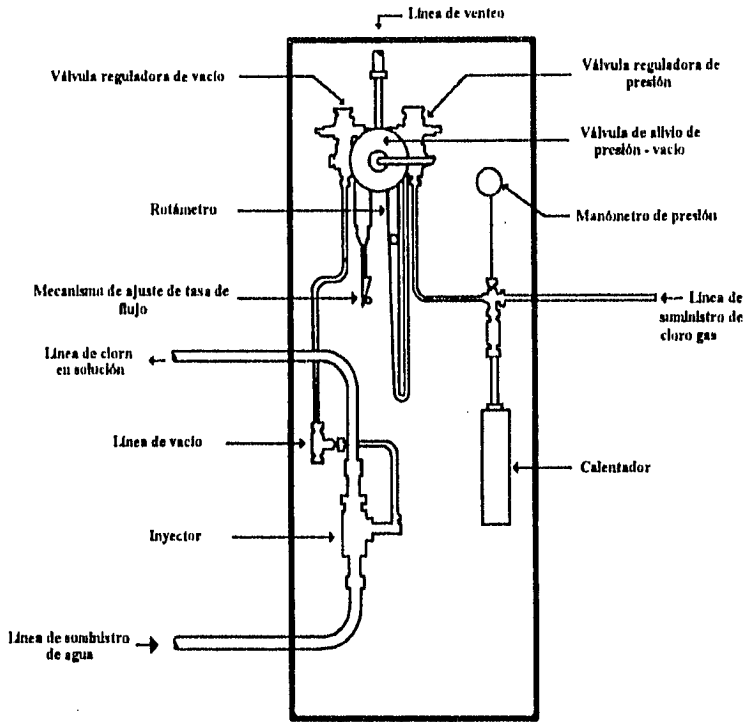


FIGURA 5.1 Clorador

Existen otros tipos de cloradores como los cloradores de vacío parcial, tipo presión y tipo pulsante que son menos seguros y virtualmente obsoletos. Los dosificadores de cloro gas, seco, bajo presión sólo serán usados cuando no hay abastecimiento adecuado de agua para la operación del inyector o no hay electricidad para operar la bomba de alta presión del inyector. Otros tipos son los cloradores de celda electrolítica en éstos el cloro se genera en el punto de aplicación, estos cloradores son para aplicaciones especiales, de muy poco valor práctico en las plantas de aguas residuales. Y por último los hipocloradores, emplean compuestos de cloro, se utilizan principalmente para flujos relativamente bajos o para usarse intermitentemente, continuamente o en emergencias. Pueden ser accionados eléctricamente o por medio de los medidores de agua, así como por gravedad o desplazamiento.

5.1 OPERACION

5.1.1 PRINCIPIOS DE OPERACION

La Figura 5.2 muestra el diagrama de flujo de un clorador.

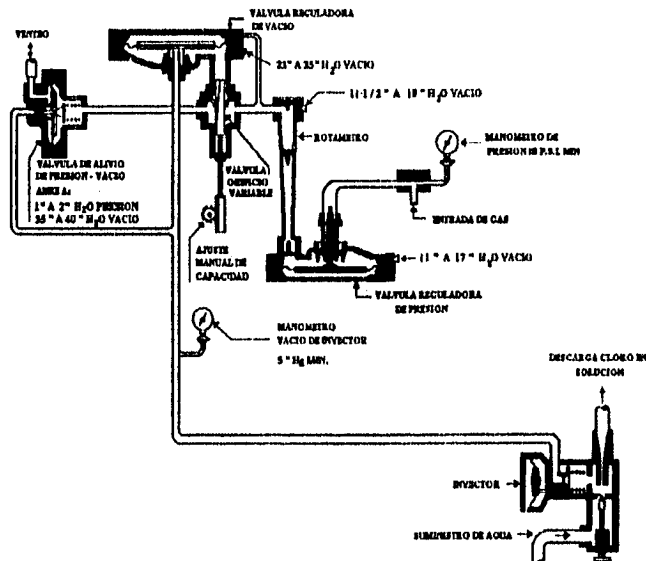


FIGURA 5.2 Diagrama de flujo de un clorador

El flujo de gas en el clorador es causado por el vacío creado en el inyector y la presión presente en el depósito de cloro. Este flujo es controlado por una serie de válvulas de diafragma operadas por resorte. El vacío ejercerá un tirón sobre el diafragma de la válvula reguladora de presión y abrirá el asiento de entrada. La entrada de cloro mantendrá este vacío a un valor prácticamente constante. El vacío antes de la válvula de tasa de flujo es algo mayor debido a la caída de presión a través del rotámetro. La válvula reguladora de vacío está diseñada para mantener una caída de presión constante a través de la válvula de tasa de flujo. Así que el flujo a través de la válvula de tasa de flujo, orificio V-notch o válvula de aguja, es únicamente una función del tamaño del orificio determinado por la posición de la válvula de tasa de flujo ajustado manualmente por el operador. De la válvula reguladora de vacío el gas pasa al inyector donde es mezclado con el agua y la solución resultante es descargada al punto de aplicación.

La válvula de alivio de presión-vacío tiene dos propósitos. El primero es el de admitir aire del venteo para liberar el exceso de vacío en el sistema, ocasionado ya sea por que el suministro de cloro es agotado o cortado, o falle la válvula reguladora de vacío, en este caso el diafragma de la válvula de alivio de presión-vacío es jalado para que el vástago de la válvula abra y admita aire del venteo. Si la válvula reguladora de presión no asienta correctamente y se desarrolla una ligera presión positiva en el clorador, el diafragma de la válvula de alivio de presión-vacío es forzado en la dirección opuesta y la presión es liberada a través del diafragma, al venteo; siendo éste último el segundo propósito.

5.1.2. PARO DE UN CLORADOR

a) paro corto

El siguiente es un procedimiento típico para parar un clorador por un período de tiempo menor de una semana.

1. Cierre la válvula del depósito de cloro.
2. Permite que el gas cloro desaloje totalmente el sistema a través del inyector. Los manómetros de presión de cloro caerán a cero kg/cm^2 en el múltiple y el clorador.
3. Cierre la válvula de descarga del clorador. El elevador puede permanecer en esta condición indefinidamente y estar listo para ser puesto en servicio reabriendo la válvula de

descarga del clorador y la válvula del recipiente de cloro. Después de reabrir estas válvulas, inspeccione las fugas de cloro en todo el sistema de cloración.

b) paro largo

1. Lleve a cabo los pasos, uno, dos y tres del paro corto anterior.
2. Apague el interruptor del clorador.
3. Asegúrese que las válvulas del clorador y múltiple estén cerradas.

5.1.3 ARRANQUE DE CLORADORES

1. Asegúrese que la válvula de cloro gas al clorador esté cerrada. Esta válvula debió haber sido cerrada desde que el clorador se sacó de servicio.

2. Todas las válvulas de cloro sobre la línea de abastecimiento deben haber sido cerradas durante el paro. Asegúrese que todas estén bien cerradas. Si algunas requieren estar abiertas, esta excepción debe ser indicada por una etiqueta sobre la válvula.

3. Inspeccione todos los tubos, múltiple y válvulas de fugas potenciales y asegúrese que todas las juntas estén empacadas correctamente.

4. Verifique las líneas de distribución de cloro en solución y asegúrese que la posición de las válvulas del sistema sea el correcto para dosificar la solución de cloro al punto de aplicación deseado.

5. Abra la válvula de tasa de flujo ajustando la tasa de alimentación de cloro.

6. Arranque el sistema de agua de alta presión del inyector. Generalmente la fuente de agua es el efluente de la planta con un mínimo de sólidos suspendidos. El flujo de agua a través del inyector crea suficiente vacío para extraer el cloro, que es absorbido y mezclado en el agua por el inyector. Este cloro en solución es conducido al punto de aplicación.

7. Examine el sistema de suministro de agua al inyector.

- a) Anote la lectura del manómetro de presión del agua del

inyector. Si la lectura es anormal, trate de identificar la causa y corrija. El filtro "Y" instalado para proteger de sólidos suspendidos al inyector se obstruirá paulatinamente, reduciendo la presión del agua, lo cual afectará la operación

b) Anote la lectura del manómetro de vacío. Si la lectura de vacío es menor a la normal, el clorador puede funcionar a una tasa de dosificación menor, pero no será capaz de alimentar a la máxima capacidad.

8. Inspeccione las fugas de las líneas de vacío del clorador.

9. Abra la válvula de cloro del recipiente de cloro y deje que el gas entre a la línea. Inspeccione todas las juntas buscando fugas con vapores de amoníaco, iniciando con la válvula del depósito de cloro, moviéndose hacia la línea y verificando todas las juntas entre esta válvula y la próxima corriente abajo. Si la válvula corriente abajo pasa la prueba del amoníaco, abra la válvula y continúe a la próxima válvula. Si no hay fugas hasta el clorador, continúe con el procedimiento de arranque.

10. Inspeccione el clorador.

a) La presión del gas cloro en el clorador debe estar entre 1.4 y 2.11 kg/cm².

b) Opere el clorador en el ámbito completo de la tasa de alimentación.

c) Verifique la operación en forma manual y automática.

11. El clorador está listo para usarse.

5.1.4 CONDICIONES DE OPERACION

a) Verificación diaria

1. Verifique la presión del agua del inyector. El ámbito de presión es de 2.81 a 6.33 kg/cm², dependiendo del sistema.

2. Determine el vacío del inyector. Los valores andarán en el rango de 38.1 a 63.5 cm de mercurio.

3. Verifique el vacío del clorador. Los valores andarán en el rango de 12.7 a 25.4 cm de mercurio.

4. Determine la presión del abastecedor de cloro del clorador. Los valores andarán entre 1.4 y 2.81 kg/cm².

5. Lea la tasa de dosificación del rotámetro del clorador. Si la tasa está al nivel requerido, registre la lectura del rotámetro y hora.

6. Examine y registre el modo de control.

- a. Manual.
- b. Automático.

b) Verificación semanal

1. Ponga el clorador en modo manual. Opere en el ámbito completo de dosificación y verifique en cada intervalo lo siguiente:

- a. Vacío del clorador.
- b. Vacío del inyector.
- c. Presión de la línea de solución.
- d. Presión de cloro en el clorador.

Si algunas de las lecturas no muestra resultados normales, haga los ajustes correctos.

1) El inyector debe producir el vacío necesario al clorador (12.7 a 25.4 cm de mercurio)

2) Ajuste la válvula reductora de presión para obtener suficiente presión y una tasa completa de alimentación del clorador.

2. Si la unidad funciona correctamente en el ámbito completo de tasas de alimentación, regrese la unidad a control automático. Si se desarrollan algunos problemas, localice la fuente y corrija.

c) Verificación mensual

1. Ejercite todas las válvulas de cloro.

2. Inspeccione los calentadores y el equipo de ventilación.

3. Verifique la línea de venteo del clorador al exterior de la estructura para detectar posibles obstrucciones que puedan impedir el libre acceso del aire. Proteja las líneas de venteo de la entrada de insectos, esto se logra usando una malla en la entrada de éste.

4. Inspeccione todas las fugas de vacío.

5. Limpie el tubo de vidrio del rotámetro.

6. Inspeccione todas las líneas de drenaje y mangueras.
7. Efectúe el mantenimiento de rutina.

5.1.5 PROBLEMAS DE OPERACIÓN

1. Fuga de cloro en el clorador.

Interrumpa el flujo de gas al clorador. Deje el inyector sobre la línea. Permita que el clorador opere y vacíe el cloro gas por tres o cinco minutos hasta cero kg/cm^2 en el manómetro de presión de cloro. Repare la fuga y use el clorador de repuesto mientras hace la reparación.

2. Presión de gas demasiado baja, menos de 1.4 kg/cm^2 . Alarma operando. Verifique el suministro de cloro.

- a. Depósitos vacíos, cambie a unidades de reserva.
- b. Pare el evaporador y vea la sección del evaporador.
- c. Inspeccione el múltiple por válvulas cerradas o filtros restringidos. Corrija operando válvulas a otro múltiple o ajuste válvulas y controles para posición correcta.

3. Vacío de inyector demasiado bajo.

- a. Ajuste el inyector para lograr el vacío requerido.
- b. Inspeccione el sistema de suministro de agua.

- 1) Bomba parada: arranque la bomba.
- 2) Filtros "Y" sucios: limpie los filtros.
- 3) Bomba desgastada: no manejará la presión y flujo apropiado para el inyector: use otra unidad y/o repare o reemplace la bomba.

- c. Inspeccione la línea de descarga del inyector. Verifique lo siguiente:

- 1) Válvula cerrada o parcialmente cerrada.
- 2) Línea rota o restricción reduciendo el flujo o incrementando la contrapresión.
- 3) Difusor tapado, restringiendo el flujo y creando una contrapresión más alta en la línea de descarga o inyector. Limpie el difusor y la tubería.

5.2 MANTENIMIENTO

En un sistema de cloración es imprescindible que se cuente con un programa de mantenimiento preventivo ya que éste requiere de vigilancia continua, debido a que un descuido o negligencia puede resultar en un peligro para el personal o daño del equipo.

5.2.1 MECANISMO DE CONTROL DE FLUJO

1. Inspeccione la cremallera y piñón y cambie si hay desgaste.
2. Opere manualmente para determinar si el flujo de gas puede ser cambiado.
3. Verifique el control automático.

5.2.2 ROTAMETRO

1. Corte el suministro de cloro gas y purgue el sistema.
2. Remueva el tubo y guarde el flotador y los O-rings.
3. Lave el tubo con agua caliente, detergente y cepillo.
4. Si el agua no remueve los depósitos, use algunos de los siguientes solventes: Cloroetano, tricloroetileno, percloroetileno o benceno.
5. Tape un extremo del rotámetro con un tapón, vierta el solvente hasta la mitad del tubo, tape el otro extremo. Agite vigorosamente por unos segundos. Enjuague con agua.
6. Deje que el tubo se seque solo.
7. Limpie el flotador con solvente, manejándolo con pinzas sin tocarlo. Permita que el flotador se seque en una superficie limpia.
8. Limpie o cambie los O-rings.
9. Reensamble el rotámetro, instale y arranque el clorador. Asegúrese que el rotámetro este correctamente asentado en sus dos extremos para evitar una fuga de vacío.

5.2.3 VALVULAS DE DIAFRAGMA

1. Desarme y limpie las válvulas del clorador (reguladora de presión, reguladora de vacío y de alivio de presión-vacío). Las partes de plástico sólo deben limpiarse con agua caliente y detergente. Las partes de metal, vidrio y cerámica pueden ser lavadas con un solvente como el tricloroetano.
2. Reemplace el diafragma si es necesario, o alguna otra pieza que sufrió desgaste.
3. Cambie todas las juntas y O-rings.
4. Elimine todas las trazas de humedad o solventes y vuelva a armar las válvulas.

5.2.4 INYECTOR

1. Desmonte el inyector.
2. Limpie la garganta de impurezas u obstrucciones.
3. Verifique el desgaste de la descarga del inyector ocasionado por la abrasión.
4. Limpie la válvula de retención de bola hasta que tenga movimiento libre.
5. Inspeccione fugas en las juntas.
6. Cambie las juntas donde se necesite.
7. Apriete los tornillos si se requiere.
8. Verifique la corrosión del resorte.

6. CONCLUSIONES

6.1 Lo más importante de las reacciones químicas de interés en el agua y aguas residuales (remoción de DBO, la disolución de sólidos y gases en el agua, los procesos de aireación y desinfección) es la velocidad a las que ocurren, estas velocidades se expresan por medio de la ecuación de velocidad de primer orden para una reacción química, la cual se determina con base en mediciones experimentales de las velocidades de reacción y es de primer orden debido a que estas reacciones muestran una velocidad directamente proporcional a la concentración de una sola sustancia reaccionante.

La velocidad de como un desinfectante extermina a los microorganismos presentes en el agua, se expresa por medio de la ley de Chick que es una ecuación de primer orden que establece: "La velocidad de destrucción bacterial es directamente proporcional al número de organismos que sobreviven en un tiempo determinado", la ley de Chick implica condiciones de reacción diferentes a las reales por lo que Rich ha propuesto una forma modificada de esta ley; aunque existe otra forma de considerar las desviaciones de esta ley y es empleando las ecuaciones 2.20 y 2.21 cuando la reacción tenga un comportamiento cinético catalítico y retardativo respectivamente. Los factores que influyen en la desinfección son: tiempo, concentración, temperatura, pH y materia orgánica.

6.2 La mayoría de los desinfectantes destruye la proteína celular por medio de la inactivación de los sistemas enzimáticos críticos esenciales para la vida microbiológica, siendo esta la forma como el desinfectante destruye los microorganismos.

Debido a la presencia y generación de enzimas dentro de la célula el mecanismo que se prevé para la destrucción de los microorganismos es:

- I) Penetración del desinfectante a través de la pared celular.
- II) Reacción de las enzimas dentro de la célula.

Existen diferentes métodos de desinfección como los no químicos, los químicos y reactivos varios.

De la variedad de métodos, la desinfección con cloro presenta ventajas tales como: economía, destrucción de gran parte de los microorganismos presentes en el agua, protección contra la recontaminación, período de retención no mayor de 30 minutos si se quiere llegar a la cloración de ruptura; aunque presenta las desventajas de comunicar olores y sabores desagradables, permite la formación de clorofenoles y otros compuestos clorados potencialmente tóxicos. La desinfección con iodo resulta también muy conveniente, debido a que: no reacciona indiscriminadamente con la materia orgánica para formar compuestos clorados, es relativamente estable en solución acuosa, proporciona una protección más duradera contra los organismos patógenos y disminuye olores y sabores ofensivos causados por el cloro; pero se deben contar con el ion yoduro para que la disolución sea suficiente y se lleve a cabo la reacción.

Cuando se utiliza al ozono en la desinfección se tienen las siguientes ventajas: propiedades bactericidas inmediatas superiores a las del cloro; eliminación del color, olor, hierro, manganeso e independencia del pH; efectividad contra ciertos patógenos resistentes al cloro; eliminación de muchos compuestos ofensivos; no comunica olores ni sabores ofensivos; evita la formación de compuestos clorados potencialmente tóxicos y compuestos mal olientes. Sus principales desventajas son un costo de inversión del equipo alto y no proporciona una protección contra la recontaminación.

Con base en las propiedades de cada uno de los métodos anteriores podemos decir que las mejores combinaciones de estos para tener una buena desinfección son:

I) El agua debe recibir un tratamiento con cloro y posteriormente una adición con iodo; siempre y cuando exista el ion yoduro,

II) Utilizar la ozonización y una posterior adición de cloro.

Cabe aclarar que la primera combinación es buena siempre y cuando el agua a desinfectar no contenga cantidades elevadas de materia orgánica.

6.3 El principal propósito de la cloración en el agua es la desinfección mientras en el agua residual los propósitos son diversos, entre los más comunes encontramos:

- a) Desinfección.
- b) Prevención de la descomposición de las aguas residuales.
- c) Mejoras en la operación de la planta.
- d) Disminución o demora de la DBO.

La demanda de cloro es la cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas y es igual a la cantidad que se agrega menos la que permanece como cloro residual después del período de contacto que generalmente es de 10 minutos para el agua y 15 para el agua residual, siendo esta última cantidad la que realiza la desinfección.

Las sustancias que se desprenden cuando el cloro se agrega al agua son cloro elemental procedente del cloro gaseoso el que por hidrólisis da el ácido hipocloroso, el que a su vez por ionización da el ion hipoclorito; las cloraminas que son resultado de la reacción del cloro con el amoníaco y los compuestos orgánicos clorados que resultan de la reacción cloro-materia orgánica.

Cuando la cantidad de cloro que se adiciona al agua es suficiente para reaccionar con los compuestos reductores, materia orgánica y el amoníaco, el cloro restante se denomina cloro residual combinado y es el que se encuentra en forma de cloraminas y compuestos orgánicos clorados, de los cuales para lograr la oxidación de las primeras es necesario seguir adicionando cloro hasta que se transformen a nitrógeno gas, esto se lleva alrededor de 30 minutos para su conclusión, este proceso se le denomina cloración de ruptura; para la degradación de los compuestos organo clorados se requieren de varias horas para su conclusión, por lo que se deben eliminar las sustancias orgánicas por algún método antes de llevarse a cabo la cloración.

El cloro residual puede estar presente como compuestos clorados de materia orgánica y amoníaco como ya se ha mencionado y se conoce como cloro residual combinado; puede estar presente como cloro libre en cuyo caso se conoce como cloro libre; puede estar presente al mismo tiempo como cloro combinado y cloro libre y su nombre es cloro total.

La cloración residual libre se alcanza rápidamente cuando el agua contiene una demanda de cloro baja, si por el contrario el agua contiene grandes cantidades de contaminantes reductores la cloración se puede llevar más allá del punto de ruptura.

La cloración residual combinada se aplica después de la desinfección, se emplea debido a que es menos reactivo que el cloro libre por lo que permanece durante largos períodos de tiempo posteriores a la cloración, el cloro residual combinado se puede obtener:

- I) Si el agua contiene poca o nula cantidad de amoníaco, se le agrega cloro y amoníaco a la vez.
- II) Si el agua contiene suficiente amoníaco solo resta adicionar cloro para obtener la concentración de cloro combinado deseado.
- III) Si el agua contiene cloro residual libre se le adiciona amoníaco para tener una concentración de cloro combinado más persistente.

De los productos derivados del cloro existen algunos que puede competir con el cloro en cuanto propiedades de combinación con sustancias como el amoníaco y las sustancias orgánicas, estabilidad, producción de cantidades sustanciales de lodos; sin embargo el costo de éstos comparado con el cloro es mayor por lo que este último es el que más se emplea en el tratamiento del agua y agua residual, aunque el hipoclorito de sodio o calcio pueden emplearse cuando los requerimientos de cloro son pequeños.

6.4 Existen diferentes tipos de cloradores pero el de tipo vacío ofrece la ventaja de que si por algún motivo se produce una falla o ruptura en el sistema de vacío, el clorador para el flujo de cloro al equipo, permitiendo la entrada de aire al sistema de vacío en lugar de dejar que el cloro escape al ambiente. Este tipo de cloradores consta de válvula reguladora de presión, válvula reguladora de vacío, rotámetro, válvula de ajuste de tasa de flujo, válvula de alivio de presión-vacío e inyector.

Un clorador de vacío funciona de la siguiente manera, el flujo de gas en el clorador es causado por el vacío creado en el inyector y la presión. Este flujo es controlado por una serie de válvulas de diafragma operadas por resorte, el vacío ocasionará una fuerza sobre el diafragma de la válvula reguladora de presión con lo cual se abre el asiento de entrada. El flujo a través de la válvula de tasa de flujo, orificio V-notch o válvula de aguja, es una función del tamaño del orificio determinado por el operador. De la válvula reguladora de vacío el gas pasa al inyector donde es mezclado con el agua y la solución resultante es descargada al punto de aplicación.

Se deben tener ciertas condiciones de operación por lo cual se requiere realizar ciertas verificaciones para que la operación

del clorador sea correcta, estas verificaciones deben realizarse diario, semanal y mensualmente.

Verificación diaria: Verificar la presión del agua del inyector, determinar el vacío del inyector, verificar el vacío del clorador, determinar la presión del abastecedor de cloro del clorador, leer la tasa de dosificación del rotámetro del clorador y por último examinar y registrar el modo de control.

Verificación semanal: Se debe poner el clorador en modo manual y operar en todo el ámbito de dosificación y verificar el vacío del clorador e inyector, presión de la línea de solución y la presión de cloro en el clorador; si todo esto no está dentro de los límites correctos de operación se deben hacer los ajustes pertinentes, si es lo contrario se debe regresar la unidad a control automático.

Verificación mensual: Se deben ejercitar todas las válvulas de cloro, verificar los calentadores y el equipo de ventilación, verificar que las líneas de venteo no tenga obstrucciones que impidan la entrada libre del aire, inspeccionar todas las fugas de vacío, limpiar el tubo de vidrio del rotámetro, inspeccionar todas las líneas de drenaje y mangueras y finalmente efectuar el mantenimiento de rutina.

Para evitar problemas en la operación del clorador, es necesario contar con un mantenimiento preventivo, éste se debe realizar al mecanismo de control de flujo, al rotámetro, válvulas de diafragma y al inyector.

GLOSARIO

ABLANDAMIENTO. Es la eliminación de los cationes de Ca^{2+} , y Fe^{2+} de las aguas naturales que las contienen y que se denominan aguas duras.

AGENTE OXIDANTE. Sustancia o especie que gana electrones en una reacción. Es un receptor de electrones.

AGENTE REDUCTOR. Una sustancia o especie que gana electrones en una reacción.

AGENTES TENSOACTIVOS CATIONICOS. Sustancia o especie que tiene carga positiva y que alteran las tensiones superficiales de los líquidos.

AGUAS NEGRAS. Se designa así a un líquido de composición variada y compleja, procedente de los diferentes usos domésticos, comerciales, públicos e industriales, mezcladas o no con agua de lluvia. Actualmente, en forma general se denominan como aguas residuales.

AGUAS RESIDUALES SEPTICAS. Se designan así a aquellas aguas en las que se ha agotado el oxígeno libre y toda la materia orgánica

se encuentra en plena putrefacción.

ALCALINIDAD. La alcalinidad de una solución se refiere a la capacidad que tiene una sustancia para neutralizar un ácido.

ACUOSO. Se dice de la disolución cuyo disolvente es el agua.

ALOTROPIA. Es el fenómeno por el cual un elemento se presenta bajo diferentes formas químicamente idénticas, pero físicamente distintas. Este fenómeno es exclusivo del estado sólido y sólo por excepción ocurre en gases, como acontece con el oxígeno.

ALOTROPO. Forma diferente de un elemento no combinado.

AMINOACIDOS. Son una clase de compuestos que contienen simultáneamente los grupos amino ($-NH_2$ y N-mono) y ácido carboxílico en la molécula.

AMINOACIDOS ANFOTEROS. Los aminoácidos tienen características anfóteras forman sales tanto con los ácidos minerales (por su función amino) como con las bases (por su función ácido carboxílico). Según el pH del medio en que se encuentran se disocian como ácidos o como bases, existiendo un pH en que la disociación ácida y básica se equilibran, y esta entonces desprovisto de carga eléctrica (punto isoeléctrico).

ANION. Partícula que se encuentra cargada eléctricamente, con una carga negativa.

ATOMO. Se puede definir un átomo de un elemento, como la partícula más pequeña de ese elemento; si se toma en cuenta la reactividad química entonces se puede definir el átomo como la mínima proporción de un elemento que puede entrar en combinación con otra.

BACTERIAS HETEROTROFAS. Son aquellos microorganismos unicelulares que carecen de envoltura nuclear y que no tienen la capacidad de alimentarse por sí mismas como la planta, es decir, obtienen los elementos orgánicos de síntesis y la energía apartir de la materia orgánica elaborada por otros seres vivos.

CATALIZADOR. Sustancia o especie que no se consume en una reacción, pero cuya presencia provee un mecanismo alterno de disminución de la energía de activación de la reacción. Una catalizador aumenta la velocidad de la reacción.

CATION. Ion cargado positivamente.

CATODO. Siendo el voltámetro un depósito con una sustancia que disuelta en el agua permite el paso de la corriente eléctrica a través de ella (electrolito) y dos terminales metálicas para electrolizar el líquido contenido en el; el catodo es una de las dos terminales metálicas del voltámetro, la cual se conecta con el polo negativo del generador.

CELULAS VEGETATIVAS. Esporas en medio y condiciones favorables para su desarrollo que germinan rompiéndose su pared.

CINETICA QUIMICA. Es el estudio de las velocidades y mecanismos de las reacciones químicas.

CITOPLASMA. Parte fundamental de la célula, entre la membrana celular y el núcleo. Está formada por una parte fundamental (hialoplasma) y diversos orgánulos.

COLOIDE. Material compuesto de partículas diminutas, generalmente con un tamaño demasiado pequeño para la sedimentación por gravedad, pero lo suficientemente grande para difundir la luz.

COMPUESTO. Son las sustancias homogéneas formadas por la unión de dos o más elementos diferentes, combinados en proporciones fijas de peso.

COMPUESTOS BINARIOS. Son aquellos compuestos químicos que tienen en su molécula y en su fórmula dos elementos diferentes.

CONCENTRACION DE SATURACION EN EL EQUILIBRIO. Cantidad de soluto por unidad de peso o volumen de una disolución que no admite más cantidad de soluto para aquellas condiciones de volumen, temperatura y equilibrio.

DBO (Demanda bioquímica). Es la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias en la degradación de la materia orgánica presente en el agua en condiciones aerobias (cuando las bacterias utilizan el oxígeno libre aceptor de electrones). El oxígeno consumido en el proceso es proporcional a la cantidad de materia orgánica existente en el agua.

DQO (Demanda química de oxígeno). Es la oxidación química que usa una mezcla hirviendo de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

DISOLUCION. Líquido que en fase homogénea contiene un sólido, otro líquido o gas.

DISOLVENTE. Es una sustancia líquida que disuelve a otra.

DISRUPCION. Ruptura mediante una onda sonora de frecuencia superior a 20 Khz.

DISRUPTIVO. Se dice del tipo de coloración críptica en la librea de los animales y consiste en una serie de manchas que rompen el contorno regular de la superficie del cuerpo.

ECUACION DE BALANCE MATERIAL. Esta ecuación considera las entradas menos salidas más la producción menos la remoción de materia que será igual a lo que se almacena, y se utiliza para demostrar que se ha tomado en cuenta todos los componentes comprobando que el balance material cierra. Esta ecuación es la forma más general del principio de conservación de la masa.

ELECTROLISIS. Paso de la corriente eléctrica por cierta clase de líquidos conductores (electrolito) que provoca la descomposición química del líquido.

ELECTRONEGATIVIDAD. Medida de atracción que se ejerce en un núcleo de un átomo determinado sobre los electrones cercanos, cuando se enlazan las orbitales de dos átomos, transformándolos en iones negativos.

ELEMENTO. Conjunto de átomos de la misma especie, que tienen el mismo número atómico y se representa por medio de un símbolo.

ENLACE COVALENTE. Enlace que se produce cuando dos átomos de igual y alta electronegatividad comparten un par de electrones, suministrados por ambos, y que se hallan equidistantes de los núcleos que tienen carga positiva. También llamado no polar.

ENLACE IONICO. Fuerza de atracción entre los iones de signo contrario, formados por transferencias de electrones. También se le llama electrovalente o polar.

ENTEROVIRUS. Virus que infectan las células del tracto intestinal.

ENZIMA. Proteína que sirve como catalizador bioquímico.

ESCHERICHIA COLI. Es una bacteria entérica de una especie bacteriana representativa de la familia enterobacteriáceas, de una a dos micras de longitud, en ocasiones forman cápsulas. Se halla en el intestino de los animales de sangre caliente y su presencia en aguas naturales se usa como indicadora de potabilidad.

ESPORAS. Célula o conjunto de células que sin necesidad de fecundación es capaz de producir un nuevo individuo, están presentes en algunas bacterias, protozoos y criptógamas. Reciben distintos nombres según su morfología y órgano de producción. Resisten condiciones desfavorables.

ESTEQUIOMETRIA. Parte de la química que estudia las reacciones matemáticas entre las masas y volúmenes de los reactantes y productos de una reacción química, mediante las relaciones de combinación expresadas por su fórmula, sus ecuaciones químicas y las leyes ponderables gravimétricas y volumétricas de la química.

FORMAS DIVALENTES. Elementos que pueden actuar con dos radicales.

FORMACION DE COMPLEJOS. Formación de un ion metálico o a veces una molécula, que consta de un átomo central o ion rodeado por algunos átomos periféricos, iones o moléculas (ligandos) unidos a él.

FUERZA IONICA. Es la fuerza con que los iones de carga opuesta se atraen.

GRUPOS FUNCIONALES. Grupos de átomos en moléculas que hacen que la molécula presente un conjunto de reacciones características.

HALOGENOS. miembros del grupo VIIA en la tabla periódica.

HIDROLISIS. La ionización del agua da lugar a un tipo de reacciones denominadas de hidrólisis que es la reacción de un anión con el agua para formar una base débil y H^+ , o la reacción de un catión con agua para formar una base débil y H^+ (Arrhenius).

ION. Un átomo o grupo de átomos enlazados covalentemente que llevan una carga eléctrica.

IONIZACION. 1) Pérdida de un electrón por un átomo, molécula o ion. 2) Disociación de una sustancia que produce iones cuando se disuelve en un solvente.

ISOTOPOS. Átomos de un mismo elemento que tienen diferente número de neutrones en su núcleo y por consiguiente diferentes carga nuclear y diferente número de electrones en la región extranuclear.

METABOLISMO. Conjunto de los procesos fisicoquímicos que tienen lugar en los seres vivos; comprende, una parte, la degradación de los compuestos orgánicos que integran la dieta o bien, sintetizados por el propio organismo a fin de obtener la energía necesaria (catabolismo) que en partes es usada para la síntesis de las propias moléculas específicas (anabolismo) y trabaja para otras actividades orgánicas.

MOLECULA. Es la partícula más pequeña de una sustancia, eléctricamente neutra, formada de uno o más átomos y con las características esenciales del elemento o compuesto químico. Pueden ser monoatómicas, biatómicas y poliatómicas, según estén formadas de uno, dos o más átomos.

MUTACION GENETICA. Modificación súbita en el material genético de un ser vivo. Puede ser espontánea (relacionada con deficiencias en la mitosis) o provocada por agentes mutágenos (rayos X o Y,

ciertos productos químicos) y se localiza en los genes o en los cromosomas.

ORGANISMOS PATOGENOS. Son bacterias parásitas que al crecer, producen sustancias que son venenosas para el huésped, el cual adquiere así un estado que se llama enfermedad.

OXIDACION. Es el proceso en que un átomo, ion o molécula pierde uno o más electrones.

OXIDACION ANODICA. Eliminación continua de electrones mediante oxidación.

pH. Es el logaritmo en base 10 de la concentración de iones hidrógeno con signo negativo. La acidez corresponde a un pH menor de 7, la basicidad a pH mayor de 7 y la neutralidad a pH 7. Se define una solución ácida como aquella en la cual la concentración del ion hidrógeno (hidronio) es mayor que la concentración del ion hidróxido. Una solución básica es aquella en la cual la inversa es cierta (OH^- excede a H^+), finalmente una solución neutra es aquella en la que estas dos concentraciones son iguales.

PRESION OSMOTICA. Una propiedad coligativa; es la presión que se debe aplicar a una solución en un lado de la membrana semi-impermeable a fin de obtener el paso de moléculas del solvente a través de la membrana semi-impermeable a partir de una solución de alta concentración de solvente (baja concentración de soluto) a otra de más baja concentración de solvente (más alta concentración de soluto).

PROGRESION. Crecimiento de forma constante.

PROPORCION MOLAR. Conocida también como fracción molar (X), es la razón del número de moles de un componente respecto al número total de moles.

PROTEINA CELULAR. Compuesto polimérico que emplea la célula, de elevado peso molecular, integrado por una variedad de aminoácidos unidos entre sí por enlaces péptidos.

PROTOLISIS. Hidrólisis de las proteínas que son fragmentadas en sus aminoácidos que generalmente es causada por efecto enzimático.

RADICALES. Son fragmentos moleculares que tiene uno o más pares de electrones desapareados; generalmente tienen una vida corta y son mucho muy reactivos.

REACCION BIMOLECULAR. El término que describe el número de moléculas reaccionantes en una etapa determinada se llama la molecularidad de una reacción. Por lo que una reacción bimolecular es aquella etapa en la que involucra dos sustancias.

REACCION CATALITICA. Reacciones en las que uno de los productos es capaz de catalizar la descomposición posterior de las sustancias reaccionantes.

REACCION DE ESPECIES IONICAS. Son aquellas en las que:

- 1) El producto de las combinaciones de iones es ligeramente soluble, de manera que ocurre la precipitación.
- 2) La reacción forma un producto ionizado.
- 3) Los iones pueden ser mutuamente inestables con respecto a la oxidación y a la reducción.

REACCION HOMOGENEA IRREVERSIBLE. Es aquella reacción donde sus propiedades permanecen constantes a través de toda la masa que constituye al compuesto además de ser reacciones completas, es decir, que los productos no reaccionan entre sí para dar lugar a las sustancias que les dieron origen y comunmente en ellas se forma un precipitado o un gas.

REACCION MONOMOLECULAR (unimolecular). Es aquella reacción donde solo actúa una sustancia reaccionante.

REACCION MULTIMOLECULAR. Es aquella reacción donde actúan más de tres sustancias reaccionantes.

REACCIONES QUIMICAS. Proceso mediante el cual se convierte o transforma una o varias sustancias químicas en una u otras distintas a las primeras.

REACCION REDOX. Las reacciones en las que se transfieren electrones de un átomo, ion o molécula a otro se llama de oxidación-reducción o redox.

SALMUERA. Solución acuosa concentrada de cloruro de calcio o de cloruro de sodio.

SUSTANCIA. Este término se utiliza indistintamente para referirnos tanto a un elemento como a un compuesto.

SOLUCION. Una mezcla homogénea.

SOLUCION ACUOSA. Es la mezcla con un conjunto uniforme de propiedades que contiene un sólido y otro líquido el cual sirve como disolvente y es el agua.

SOLUTO. Un componente de una solución, presente en una concentración que es baja en relación con la del solvente.

SOLVATACION. Es la interacción de un soluto con un solvente; las partículas del soluto son rodeadas por las del solvente.

SOLVENTE. Es un componente de una solución, presente en una concentración relativamente alta.

TEMPERATURA ABSOLUTA. También llamada de Kelvin, se fundamenta en criterios termodinámicos y cuyos valores no dependen del fluido termométrico. La unidad en esta escala se llama Kelvin (K) y se ha definido de tal manera que $1K = 1^{\circ}C$. El cero de esta escala está en $-273.15^{\circ}C$ y se ha visto que esta es una constante natural. Para transformar temperatura celsius en temperatura absoluta se agregan 273 a aquella de tal forma que $K = ^{\circ}C + 273$.

VIRUS. microorganismos submicroscópicos, de carácter no celular; no es retenido por los filtros bacterianos normales.

BIBLIOGRAFIA

1. Alcántara Barbosa Ma. del Consuelo.
Química de hoy.
Ed. Mc Graw Hill. México 1994.
2. Dean John, A.
Lange's (Handbook of Chemistry)
Editor: John A. Dean
3. Departamento de sanidad del estado de Nueva York.
Manual de tratamiento de aguas.
Ed. Limusa Wiley, S.A. México, 1965.
4. Departamento de sanidad del estado de Nueva York.
Tratamiento de aguas negras.
Ed. limusa. México, 1980.
5. Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A.
Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas
residuales Vol. II.
Ed. Limusa. México, 1993.

6. Georgina Fernández Villagómez.
apuntes de química ambiental.
Editado por la división de estudios de posgrado,
facultad de Ingeniería.
Ingeniería UNAM 1986.
7. Index Merck
An encyclopedia of chemicals, Drugs and Biological
Eleventh edición.
Published by Merck & Co., Inc Rahway N.J. USA 1989.
8. Pelczar, Michael J. Jr.; Reid, Roger D.
Microbiología.
Ed. Mc Graw Hill. México, 1996.
9. Russell, John B.; Larena Alicia.
Química general.
Ed. Mc Graw Hill. México, 1993.
10. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE).
Operación y mantenimiento de sistemas de
desinfección.
Editado por SEDUE.
11. Tebutt, T.H.Y.
Fundamentos de control de la calidad del agua.
Ed. Reverté. México, 1990.
12. Walter J, Weber, Jr.
Physicochemical Processes for water quality control.
Ed. Mc Graw Hill. México, 1994.