

1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

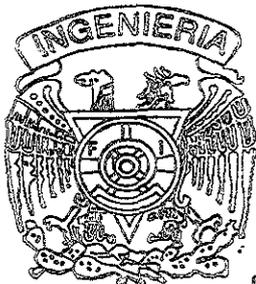
DISEÑO DE SISTEMAS DE DESINFECCION
A BASE DE GAS CLORO EN PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a
MARIO AGUIRRE TELLO

DIRECTOR: M.C. CONSTANTINO GUTIERREZ
PALACIOS





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTTI/086/98

Señor
MARIO AGUIRRE TELLO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. C. CONSTANTINO GUTIERREZ PALACIOS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

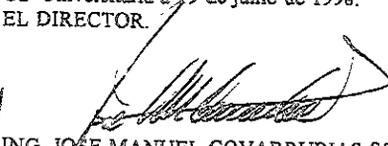
"DISEÑO DE SISTEMAS DE DESINFECCION A BASE DE GAS CLORO EN PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

- INTRODUCCION
- I. GENERALIDADES
- II. TEORIA DE LA DESINFECCION MEDIANTE CLORACION
- III. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CLORACION
- IV. DISEÑO HIDRAULICO
- V. DISEÑO ELECTROMECHANICO
- VI. OPERACION Y MANTENIMIENTO
- VII. CASO PRACTICO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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 19 de junio de 1998.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP*lmf

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por el cariño que siempre he recibido de ella, por su empeño y ayuda diaria, y las ganas que me ha transmitido de salir adelante.

A mi padre por el apoyo y la motivación que siempre he recibido de él, por sus valiosos consejos, y la energía transmitida que siempre me ha impulsado a seguir creciendo.

A mis hermanas Mayi y Angel por el ejemplo que he recibido de ellas, su apoyo que nunca me han negado, y sus alegrías, gracias a ellas todo se ha facilitado.

A Estela, por las horas de trabajo que le dedicó e este esfuerzo, por haberme transmitido la urgencia de concluir esto, su ayuda incondicional y por las enseñanzas que he recibido de ella.

A mis abuelos y familia por su unión y cariño que siempre me han brindado, espero sea un ejemplo para los que vienen atrás.

A la Facultad de Ingeniería por haberme facilitado el conocimiento a través de un sinnúmero de posibilidades que no imaginé y a sus profesores por su enseñanza. Por supuesto a la Universidad que me abrió las puertas para realizar este sueño.

Al M.C. Constantino Gutiérrez Palacios por haberme dado la oportunidad de desarrollar este trabajo y su gran apoyo cultural. A los sinodales M.I. Rafael López Ruiz, Ing. Héctor García Gutiérrez, M.C. Miguel Ángel Yañez Monroy y al Ing. Marco Antonio Álvarez Solís, por participar en este esfuerzo y su ayuda para concluir esto más rápido.

Un especial agradecimiento a Ana Laura por su disposición y amistad y al Ing. Francisco Sevilla González por su tiempo y por la información tan importante que me proporcionó.

Finalmente agradezco a Dios por la vida y por haberme permitido guiar todos los esfuerzos en una sola dirección.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
I. GENERALIDADES	
I.1 DEFINICIONES BÁSICAS.....	7
I.2 IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO.....	8
I.3 NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES...	10
I.3.1 PRETRATAMIENTO.....	11
I.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.....	12
I.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	13
A) Tratamientos aerobios.....	13
A.1) Lodos activados.....	13
A.2) Sistemas de aeración.....	14
A.3) Lagunas.....	14
A.4) Filtro percolador o filtro biológico.....	15
A.5) Contactor biológico rotativo (biodisco).....	16
B) Digestión anaerobia.....	16
I.3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO.....	17
A) Filtración.....	17
B) Adsorción.....	17
C) Oxidación.....	18
D) Aereación prolongada.....	18
E) Precipitación química.....	18
F) Osmosis Inversa.....	19
G) Diálisis.....	19
H) Electrodialisis.....	19
I.4 DESINFECCIÓN.....	20
I.4.1 DEFINICIÓN.....	20
I.4.2 BASES DE LA DESINFECCIÓN QUÍMICA.....	23
I.4.3 MÉTODOS FÍSICOS DE DESINFECCIÓN.....	25
A) Filtración y ultrafiltración.....	25
B) Rayos ultravioleta.....	26
I.4.3 MÉTODOS QUÍMICOS DE DESINFECCIÓN.....	29
A) Compuestos de cloro.....	31
B) Desinfección por ozono.....	32
B.1) Componentes de un sistema mediante ozono.....	33
II. TEORÍA DE LA DESINFECCIÓN MEDIANTE CLORACIÓN	
II.1 DESINFECCIÓN CON CLORO.....	35

II.1.1 UTILIZACIÓN Y OBJETIVO DE LA CLORACIÓN	37
II.1.2 CLORO COMO DESINFECTANTE.....	38
II.2 CLORO LIBRE DISPONIBLE.....	41
II.2.1 CLORO LIBRE DISPONIBLE COMBINADO.....	44
II.3 CLORACIÓN A PUNTO DE QUIEBRE O PUNTO DE INFLEXIÓN.....	45
II.3.1 DECLORACIÓN.....	48
II.4 TECNOLOGÍA QUÍMICA DEL CLORO.....	49
II.5 CLORACIÓN DE AGUAS	50
II.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EFICACIA DEL CLORO.....	52
II.6.1 EFICACIA GERMICIDA DEL CLORO.....	53
II.6.2 EFICACIA GERMICIDA DE LOS DIVERSOS COMPUESTOS DE CLORO...54	
II.6.3 MEZCLA INICIAL.....	56
II.6.4 REACCION A PUNTO DE QUIEBRE.....	56
II.6.5 TIEMPO DE CONTACTO.....	57
II.6.6 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	58
II.6.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROORGANISMOS.....	59
II.7 VARIABLES CONTROLABLES EN DESINFECCIÓN DE AGUAS.....	60
II.8 OTROS USOS DEL CLORO.....	62
III. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN	
III.1 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO.....	67
III.1.1 SOLUCIÓN DIRECTA O SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE QUIMICO SECO.....	67
III.1.2 SISTEMA DE GAS A SOLUCIÓN	68
III.1.3 INYECCIÓN DIRECTA DE GAS	68
III.2 ALMACENAJE DE GAS CLORO	68
III.3 VAPORIZADORES.....	76
III.4 CLORADORES.....	80
III.5 DIFUSORES.....	83
III.6 TANQUE DE CONTACTO DE CLORO.....	83
III.7 MATERIALES.....	85
III.8 OTROS TIPOS DE ALIMENTACIÓN.....	87
III.8.1 ALIMENTADORES DE BIXIDO DE SULFURO.....	87
III.8.2 ALIMENTACIÓN CON BIXIDO DE CLORO.....	87
III.8.3 HIPOCLORADORES.....	91
III.9 ALMACENAJE Y VENTA DEL AMONIACO.....	95
III.9.1 ALIMENTACIÓN CON AMONIACO.....	97
IV. DISEÑO HIDRÁULICO	
IV.1 TEORÍA DE CHICK-WATSON.....	101
IV.2 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN POR CONTACTO.....	104

IV.2.1 RELACIÓN DE LA DESINFECCIÓN	105
IV.2.2 DISPERSIÓN	105
IV.2.3 TANQUE REACTOR COMPLETAMENTE AGITADO.	109
IV.2.4 DISEÑO DE LA CAMARA	110
IV.2.5 LONGITUD DE LAS TUBERIAS.	110
IV.2.6 TUBERIAS DE GAS CLORO	111
IV.2.7 LONGITUD DE LOS CANALES	113
IV.3 MEZCLADO	116
IV.3.1 GRADIENTE DE VELOCIDAD MEDIA	117
IV.3.2 CONDUCTOS CERRADOS.	119
IV.3.3 DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS.	119
IV.3.4 DISPOSITIVOS COMERCIALES.	121
IV.4 CONTACTO.	121
IV.4.1 TANQUE DE CONTACTO DE CLORO.	124
IV.5 CONSIDERACIONES DE PROYECTO.	124
IV.6 CONTROL DEL EFLUENTE Y MEDIDA MEDIANTE EL NMP.	126
V. DISEÑO ELECTROMECAÁNICO	
V.1 SELECCIÓN DEL METODO DE ALIMENTACIÓN.	127
V.2 SELECCIÓN DEL METODO DE CONTROL.	126
V.2.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL EN LA ALIMENTACIÓN DE GAS CLORO.	128
V.3 CONTROL DE LA CLORACIÓN.	129
V.3.1 CONTROL MANUAL.	130
V.3.2. CONTROL SEMIAUTOMÁTICO.	131
V.3.3 CONTROL DE FLUJO PROPORCIONADO.	132
V.3.4 CONTROL RESIDUAL	133
V.3.5 CONTROL DE CIRCUITO CERRADO MIXTO.	137
V.4 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL MONTAJE.	143
V.5 PUNTOS DE INYECCIÓN MANUAL.	144
V.6 PRINCIPIOS DE CONTROL DE LA SULFURIZACIÓN	146
V.7 CONSIDERACIONES ESPECIALES SOBRE LOS SISTEMAS DE CLORAMINAS.	147
V.8 BOMBAS DE INYECCIÓN.	151
V.8.1 BOMBA CENTRÍFUGA.	151
V.8.2 BOMBA DE TURBINA.	151
V.8.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN.	151
V.9 IMPORTANCIA DEL DISEÑO MECÁNICO.	159
V.9.1 INSTALACIONES ELÉCTRICAS.	159
V.9.2 MOTORES	160
V.9.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROLES.	161
V.9.4 ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO ALTERNATIVO.	161

V.9.5 ILUMINACIÓN.....	162
VI. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
VI.1 SEGURIDAD EN LA CLORACIÓN.....	163
VI.1.1 HIPOCLORITO DE CALCIO.....	163
VI.1.2 HIPOCLORITO DE SODIO.....	164
VI.1.3 GAS CLORO.....	164
VI.1.4 DIÓXIDO DE SULFURO.....	165
VI.2 INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE CLORO Y DIÓXIDO DE SULFURO.....	166
VI.2.1 TRANSPORTACIÓN Y ENTREGA.....	166
VI.2.2. INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE CILINDROS DE 70 KG.....	168
VI.2.3 INSTALACIONES PARA CONTENEDORES DE 1 TONELADA.....	169
VI.2.4 INSTALACIONES PARA EL VAPORIZADOR.....	170
VI.2.5 INSTALACIONES PARA CAMION TANQUE, CARRO TANQUE Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	171
VI.2.6 OTROS REQUERIMIENTOS ESPECIALES.....	171
VI.3 OPERACIÓN.....	172
VI.4 MANTENIMIENTO DEL CLORADOR Y SULFURIZADOR.....	173
VI.5 SELECCIÓN DE ACCESORIOS.....	175
VI.6 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO.....	176
VI.6.1 INTRODUCCIÓN.....	176
VI.6.2 INSTALACIONES AUXILIARES.....	177
VI.6.3 CIVIL.....	178
A) ESTACIONAMIENTO.....	178
B) ACCESO.....	178
VI.6.4 CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS.....	179
A) INSTALACIONES ADMINISTRATIVAS.....	179
B) ACCESO PARA DISCAPACITADOS.....	180
C) LABORATORIO.....	180
C.1) ESTIMANDO NECESIDADES DE LABORATORIO.....	180
C.2) OPERACIÓN DE LABORATORIO.....	182
VI.6.5 INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO.....	183
A) TALLERES DE REPARACIÓN.....	183
B) HERRAMIENTAS.....	184
C) PARTES DE REPUESTO.....	184
VI.6.6 INSTALACIONES DE PERSONAL.....	184
VI.6.7 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS INSTALACIONES.....	185
A) ACABADOS.....	185
B) PINTURA.....	186
VI.6.8 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO Y DE MANTENIMIENTO.....	186
VI.6.9 DRENAJE INTERIOR.....	187

VI.6.10 TUBERIAS CON CODIGO DE COLOR	188
VI.6.11 CONTROL DEL RUIDO... .. .	188
VI.6.12 CALEFACCIÓN, VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO... .. .	189
VI.6.13 DESHUMIDIFICACIÓN... .. .	190
VI.6.14 INSTALACIONES DE AGUA Y DE GAS EN LA PLANTA.	190
VI.6.15 COMUNICACIONES	191
VI.6.16 SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES... .. .	192
VI.6.17 BARDEADO.	192
VI.6.18 ILUMINACIÓN DE SEGURIDAD... .. .	193
VI.6.19 CONTROL DE ENTRADA... .. .	193
VI.6.20 CENTRO DE CONTROL... .. .	194
VI.6.21 SEGURIDAD DE PERSONAL.	195
VII. CASO PRÁCTICO..... .. .	197
A) DETERMINACIÓN DEL RANGO DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO	198
B) DETERMINACIÓN DEL GASTO..... .. .	200
C) TASA DE ALIMENTACIÓN REQUERIDA... .. .	201
D) PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE COLIFORMES..... .. .	203
E) TANQUE DE CONTACTO DE CLORO.	203
F) CÁLCULO DEL NÚMERO DE TANQUES DE GAS CLORO REQUERIDOS.....	205
G) ELECCIÓN DEL MODELO DEL EQUIPO, CÁLCULO DE LA TOBERA Y DE LA GARGANTA DEL INYECTOR..... .. .	205
H) CÁLCULO DE LA BOMBA DE AYUDA O BOMA CENTRÍFUGA..... .. .	208
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... .. .	209
ANEXOS..... .. .	215
REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL INYECTOR HIDRÁULICO..... .. .	215
ARREGLO GENERAL PARA GAS CLORO..... .. .	217
BÁSCULA PARA DOS CILINDROS CON TUBERÍA FLEXIBLE DE GAS CLORO.	218
CLORINADOR S10K EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.. . . .	219
CLORACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES..... .. .	220
INYECTOR DE GARGANTA FIJADA 1" Y 3/2"	221
INYECTOR CON GARGANTA VARIABLE DE 2" GARGANTA LARGA.	222
FOTO DE DOSIFICADOR DE 500 LIBRAS POR DÍA..... .. .	223
FOTO DE DOSIFICADOR DE 3,000 LIBRAS POR DÍA.	224
FOTO DE DOSIFICADOR DE 10,000 LIBRAS POR DÍA	225
INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO DE DOSIFICACIÓN S10K CLORINADOR SÓNICO..... .. .	226
PRECIOS QUE SE MANEJAN EN EL MERCADO DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS DE CLORINACIÓN..... .. .	234
REFERENCIAS..... .. .	239

INTRODUCCIÓN

La historia del abastecimiento y de la evacuación de las aguas residuales y pluviales empieza con el crecimiento de las capitales antiguas, o de los centros religiosos y comerciales. Fueron construidas como obras de gran magnitud y complejidad considerables, sus restos son monumentos a la sólida, aun sorprendente, habilidad de los ingenieros primitivos. Los acueductos y drenajes de la antigua Roma, y sus dominios son especialmente notables y un ejemplo de ello.

Sin embargo, el control definitivo de la calidad del agua, como propósito, es de origen bastante reciente. Se inicia, también, con el crecimiento de las ciudades, en este caso poblados industriales surgidos de la revolución industrial acontecida en el siglo XIX. Los servicios comunales de las proliferantes ciudades industriales fueron sobrecargados con rapidez, así que hubo necesidad de resolver la diferente problemática que se fue encontrando como: el saneamiento, control de la calidad y purificación del agua; y el saneamiento, tratamiento y control de calidad de las descargas de aguas residuales.

No se descubrió sino hasta mediados del siglo XIX ni se confirmó científicamente hasta fines de dicho siglo, que el cólera, la fiebre tifoidea y otras infecciones entéricas podían ser transmitidas mediante el agua y que las aguas negras contenían frecuentemente los agentes causantes de las enfermedades. Eventualmente también en las ciencias físicas y naturales en desarrollo, surgieron formas para prevenir la transmisión de enfermedades hídricas comunes, estableciendo por otra parte, la seguridad, sabor agradable y utilidad económica del agua. Al mismo tiempo se investigó el comportamiento de las aguas residuales que fluyen de las comunidades e industrias, y ello permitió proteger los cuerpos receptores de agua contra la contaminación.

Actualmente la calidad del agua está regulada, existe una norma de la Secretaría de Salud, que establece las características específicas que debe reunir el agua destinada al consumo humano. Según estudios de la Organización Mundial de la Salud, hasta 1990 las enfermedades relacionadas con el agua para beber, se encuentran entre las tres causas principales de muerte en el mundo (Javier Alatorre, 1998). Sólo en América Latina y en el Caribe, la Gastroenteritis y las enfermedades diarreicas son responsables de

aproximadamente 200,000 muertes al año, sin incluir las ocasionadas por la Fiebre Tifoidea y la Hepatitis (Javier Alatorre, 1998). El empleo de cloro para la desinfección de agua para el consumo humano, es una práctica aceptada en todo el mundo y ampliamente utilizada para el control de enfermedades; pero la otra cara de la moneda es el nivel de riesgo a la salud humana resultante de la cloración del agua.

La Transmisión de enfermedades relacionadas con el agua (enfermedades microbiológicas) son las enfermedades en donde los organismos patógenos se encuentran en el agua y cuando se ingieren en una dosis suficiente infectan al que la bebe. La mayoría de estos organismos patógenos llegan al agua mediante la contaminación con excretas humanas y finalmente ingresan al cuerpo a través de la boca (transmisión "fecal-oral"). Muchas de las enfermedades de este tipo se transmiten fácilmente a través de otros medios, por ejemplo, de las manos a la boca o mediante alimentos contaminados fecalmente.

Las enfermedades más importantes de este tipo incluyen: la Shigelosis, la Salmonelosis, el Cólera, las diarreas por *E. coli*, las diarreas Virales, la Hepatitis A, la Fiebre Tifoidea, y demás enfermedades intestinales provocadas por parásitos como *Ascaris Lumbricoides*, *Giardia Lamblia*, *Entamoeba Histolytica*, *Trichuris Trichuria*, *Ancylostoma Duodenale*, *Necator Americanus*, además de Bacterias Mesofílicas Aerobias y de Organismos Coliformes.

Las enfermedades químicas son enfermedades asociadas con la ingestión de agua que contiene sustancias tóxicas en concentraciones dañinas. Estas sustancias pueden ser de origen natural (por ejemplo, el arsénico, tóxico acumulativo y con propiedades carcinogénicas en piel y pulmones), o artificiales, ya sea por usos en la agricultura y/o en la industria, por ejemplo, insecticidas (pueden causar leucemia), cadmio (cáncer renal), cobre (daño hepático y de brazo), plomo (saturismo, en embarazadas: aborto, parto prematuro, bajo peso al nacer, en niños: disminución en coeficiente intelectual).

Hay una serie de estudios realizados en nuestro país, donde se ha demostrado la presencia de microorganismos en aguas para consumo humano, desde Bacterias, hasta Nemátodos como *Ascaris Lumbricoides* (Reyes Ruvalcaba). Asimismo, se han encontrado

desechos tóxicos peligrosos, principalmente en aguas de ríos, como lo demuestra un estudio realizado en Nogales, Sonora, donde se encontró la presencia de metales pesados como cromo, fierro, plomo, magnesio y mercurio, y otros compuestos como lo son los COV's (compuestos orgánicos volátiles) como el triclorometano, tricloroetano, tricloroetileno, entre otros (Reyes Ruvalcaba).

Además, algunos estudios han encontrado como contaminantes del agua, los siguientes desechos tóxicos: asbesto, benceno, cadmio, plomo, cloro, hidrocarburos aromáticos, fenoles y cresoles, mercurio cloruro de vinilo, xileno y tolueno.

En nuestro país (principalmente en el norte), en los últimos años se ha presentado un crecimiento industrial desmedido y muchas de esas industrias utilizan sustancias químicas tóxicas para la vida y el medio ambiente y lo más dramático es que utilizan los canales y/o ríos para desecharlas sin tratamiento alguno y en ocasiones esas aguas son utilizadas para riego agrícola lo que constituye un riesgo para la salud. Como respuesta a la situación del agua que usamos diariamente en diferentes actividades existen instancias nacionales e internacionales que se dedican a vigilar su calidad. En nuestro país existen normas oficiales (NOM) y otras en proyecto con el propósito de cuidar un recurso natural vital como el agua.

La importancia de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales: domésticas o industriales se acentúa aún más debido a que aunque las bacterias son benéficas para degradar la materia orgánica en los reactores biológicos de las plantas, estas bacterias pueden causar serios problemas de enfermedades antes mencionadas.

El objetivo de este trabajo es presentar los procedimientos generales de diseño de desinfección a base de gas cloro, como parte de un proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales, ejemplificando el diseño mediante un caso práctico. En el tren del tratamiento de las aguas residuales, la desinfección llega a ser una de las etapas más importantes debido a que con ella se logra eliminar, en gran medida del agua, los organismos vivos (microorganismos, bacteria y virus) que son causantes de las enfermedades antes mencionadas.

Para lograr los objetivos propuestos, este trabajo se divide en los siguientes temas. En el capítulo 1 se mencionan definiciones básicas, conceptos importantes para familiarizarse con el tema de tratamiento de agua residual, se hace una descripción general de los niveles de tratamiento, y se empieza con lo relativo a desinfección describiendo de forma general los métodos físicos y químicos que existen.

En el capítulo II se describe la teoría de la desinfección mediante cloración, su utilización y objetivo, las reacciones resultantes de la cloración, los factores que intervienen en su eficacia, características de los microorganismos e información básica que ayudará a comprender los principios del diseño hidráulico y electromecánico, mencionados más detalladamente en los capítulos subsecuentes.

En el capítulo III se describen paso a paso los componentes básicos de un sistema de cloración a base de gas cloro, los componentes que se encuentran dentro del cuarto de cloración como son el vaporizador, el clorinador, el inyector, etc. y los que se encuentran fuera de él, como el tanque de contacto de cloro y los difusores, para así comprender de mejor forma el diseño hidráulico y electromecánico, siendo estos capítulos fundamentales en este trabajo.

En el capítulo IV se toca el tema del diseño de las instalaciones de cloración por contacto, diseño de las tuberías, tanque de contacto de cloro, gradiente de velocidad, etc. y dispositivos hidráulicos referentes a este tema.

En el capítulo V (diseño electromecánico) se estudia lo referente a estrategias de control en la alimentación de gas cloro, selección del método de alimentación, configuración del montaje, funciones adicionales y selección de bombas.

El capítulo VI trata lo referente a la operación y mantenimiento de la planta desde la transportación hasta el equipamiento especial que necesitan las personas que van a operar la misma; además de las consideraciones sobre el diseño de las instalaciones de tratamiento.

Por último, en el capítulo VII se incluye un caso práctico que es útil para ejemplificar el diseño del sistema. Se anexa al final de este trabajo información técnica de algunos fabricantes de equipos de clorinación, configuraciones típicas que sirven para ilustrar los arreglos de los sistemas de clorinación que se utilizan y precios actuales de equipos existentes en el mercado.

Con lo anterior se tiene la información necesaria y suficiente para conocer los aspectos básicos que se deben de tomar en cuenta en el diseño de sistemas de desinfección a base de gas cloro en el tratamiento de aguas residuales.

CAPITULO 1**GENERALIDADES****1.1 DEFINICIONES BÁSICAS**

Antes de introducirse al tema de desinfección, se estudiará algunas definiciones básicas de los aspectos generales del tratamiento de agua para familiarizarse con el tema.

¿Qué son las aguas residuales?

Son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales; de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. O bien, son aquellas provenientes o generadas por alguna actividad humana, al hacer uso del agua potable, o agua de primer uso, a las cuales le son agregados materiales, sustancias, elementos, o energía, que modifican sus características físicas, químicas y bacteriológicas, degradando normalmente la calidad inicial.

¿Qué es el tratamiento de aguas residuales?

Es la aplicación de procesos físicos, químicos, biológicos, o la combinación de ellos, que se aplican a las aguas residuales, para remover los materiales, sustancias y elementos contaminantes que fueron agregados al hacer uso del agua limpia. Estos procesos se llevan a cabo en instalaciones o estructuras diseñadas para tal fin.

¿Qué es un sistema de tratamiento de aguas residuales?

Es el conjunto de instalaciones y estructuras que se diseñan para remover los elementos contaminantes de las aguas residuales mediante la aplicación de procesos, físicos, químicos, biológicos o la combinación de ellos en condiciones controladas.

¿Qué es un estudio de caracterización de las aguas residuales?

Es un estudio que se lleva a cabo en laboratorio para determinar las características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas residuales. Estos resultados del estudio de caracterización de las aguas residuales se utilizan de la siguiente forma:

- 1) Compararlos con la normatividad y determinar los parámetros que no cumplan.
- 2) Determinar los tipos de contaminantes cuya concentración se desea limitar y orientar el tipo de proceso mas adecuado para su remoción.
- 3) Determinar los procesos tentativos más adecuados para tratar las aguas residuales.
- 4) En el dimensionamiento de las unidades de tratamiento.

¿Qué son las pruebas de tratabilidad?

Son estudios que se llevan a cabo a nivel piloto en laboratorio simulando los procesos de tratamiento con unidades a escala, con el fin de comprobar si el o los procesos propuestos, son factibles y eficaces de acuerdo a los objetivos de tratamiento planeados.

¿Qué son las condiciones particulares de descarga?

Es el conjunto de valores numérico con sus unidades de medición correspondiente de los parámetros que establece la CNA y que deben cumplir (como valor límite), los responsables de alguna descarga de aguas residuales.

I.2 IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO

Los dos factores más importantes por el que se deben tratar las aguas residuales son el resguardo a la salud y la protección al ambiente. Tanto el abastecimiento de aguas como la descarga de las residuales son bienes comunales interrelacionados. Sin embargo, la seguridad y el sabor agradable de su suministro entrañan solamente la preocupación e interés de la comunidad servida; la evacuación sanitaria de sus aguas residuales es un ejercicio de maduro altruismo y una solicitud para obtener la seguridad y

confort de los demás. A causa de esta diferencia, ha sido necesario, generalmente, reforzar el saneamiento de las masas acuáticas receptoras a través de las funciones judiciales, así como legislativas, concejales y reguladoras del gobierno.

Para satisfacer los requerimientos de la preservación de la calidad del agua, los sistemas de evacuación de aguas residuales deben realizar dos funciones. 1) una colección confiable e inofensiva de las materias de desecho y 2) una evacuación segura de las aguas residuales adecuadamente tratadas a las corrientes receptoras o a la tierra. De otra manera, como sucedió en las obras antiguas de drenaje, el sistema colector simplemente transfiere los peligros y molestias longitudinalmente desde las inmediaciones de las habitaciones y establecimientos industriales a los canales regionales de drenado.

Un agua que no ha recibido el tratamiento adecuado puede repercutir en la transmisión de enfermedades, la contaminación de las aguas receptoras, y esto causar a su vez:

- 1) deterioro físico, químico y biológico de los abastecimientos de agua, balnearios, bancos ostrícolas y abastecimientos de hielo;
- 2) condiciones ofensivas a la vista y al olfato;
- 3) destrucción de peces comestibles y de otras formas valiosas de vida acuática;
- 4) enriquecimiento del contenido nutritivo de estanques y lagos (eutroficación) conducente a la degradación y muerte eventual de tales cuerpos receptores de agua;
- y
- 5) otros menoscabos del goce y utilidad de las aguas naturales para recreación, agricultura, comercio e industria.

Algunos autores señalan que el descargar las aguas negras al suelo implica usar sus constituyentes fertilizantes. Sin embargo la dispersión con fines agrícolas de las aguas negras o de los productos finales de su tratamiento, presenta muchos peligros sanitarios y escasos beneficios que los compensen. Las aguas negras son especialmente valiosas para la irrigación y tienen, por consiguiente, un valor principal en regiones semiáridas, que no pueden abastecerse más económicamente desde otras fuentes. Sin embargo, el uso completo, pero seguro, de los desechos de la comunidad es un continuo desafío y un problema que aguarda una mejor solución a medida que pasa el tiempo.

Aun cuando las plantas modernas de tratamiento de aguas residuales pueden satisfacer la mayoría de los requerimientos de funcionamiento especificados, la selección real de los procesos es un asunto de higiene, estética y economía. Básicamente, las plantas de tratamiento de aguas residuales deberán integrarse dentro de los planes generales para una explotación óptima de los recursos hidráulicos regionales.

I.3 NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Nivel de tratamiento es el grado de pureza o calidad que se puede alcanzar en el tratamiento de las aguas residuales aplicando distintos procesos. El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para la salud y el medio ambiente, darle un rehuso y ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales. La mejor forma de tratar un agua residual depende de una serie de factores:

- Caudal.
- Composición.
- Concentraciones.
- Calidad requerida del efluente.
- Abundancia del agua.
- Posibilidades de reutilización.
- Posibilidades de vertido a una depuradora municipal.
- Tasas de vertido, etc.

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. El cuadro 1.1 presenta una *clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales*. El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como *para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, directamente o pasando por una neutralización u homogeneización*. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En cuanto al tratamiento terciario su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales.

CUADRO 1.1 Tipos de tratamiento de aguas residuales

<p>Tratamiento primario.</p> <ul style="list-style-type: none"> Cribado o desbrozo. Sedimentación. Flotación Separación de aceites. Homogeneización. Neutralización.
<p>Tratamiento secundario.</p> <ul style="list-style-type: none"> Lodos activados. Aireación prolongada. Estabilización por contacto. Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activados: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro. Lagunas de aireación. Estabilización por lagunaje. Filtros biológicos (percoladores). Discos biológicos. Tratamientos anaerobios, procesos de contacto, filtros (sumergidos).
<p>Tratamiento terciario o "avanzado".</p> <ul style="list-style-type: none"> Microtamizado. Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas). Precipitación y coagulación. Adsorción (carbón activado). Intercambio iónico. Ósmosis Inversa. Electrodialisis. Cloración Ozonización Procesos de reducción de nutrientes. Otros.

1.3.1 PRETRATAMIENTO

Se identificará a esta etapa del tratamiento como previo al tratamiento primario o también se podrá incluir dentro del tratamiento primario, según se crea conveniente, pero lo más importante es dejar claro cuál es el objetivo final de esta etapa del tratamiento de aguas residuales.

El **pretratamiento** es la unidad de un sistema de tratamientos de aguas residuales que tiene como objetivo retirar por medios físicos los sólidos gruesos que lleva el agua residual, tales como: plásticos, telas, latas, maderas, arenas, botellas, grasas, vidrios, etc., que podrían provocar un mal funcionamiento de los equipos posteriores. Pueden usarse distintos tipos de equipo: rejillas, tamices autolimpiantes, microfiltros, etc.

La **homogeneización** tiene por objeto uniformizar los caudales y características del efluente cuando los vertidos son irregulares, discontinuos o diferentes de unos momentos a otros, evitando que las descargas puntuales puedan afectar todo el proceso posterior.

La **neutralización** de vertidos persigue eliminar la acidez o alcalinidad que presentan casi todas las aguas residuales. A veces se consigue un cierto grado de neutralización mezclando vertidos de pH opuesto.

La **separación de aceites, grasas y otros materiales** menos densos que el agua, puede realizarse aprovechando la diferencia de densidades.

Los **desarenadores** cuidan de la separación previa de las arenas, y otros materiales sólidos, de densidades superiores a las de las materias orgánicas, para prevenir la erosión en bombas, la acumulación de sólidos en otros recipientes posteriores, y el taponamiento por depósito en tuberías.

1.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Los tratamientos primarios preparan las aguas residuales para su tratamiento biológico, eliminan ciertos contaminantes y reducen las variaciones de caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta.

Los **sedimentadores primarios**, llamados así para distinguirlos de los secundarios que acompañan al tratamiento biológico, se utilizan para separar los sólidos en suspensión por un proceso de sedimentación. Las partículas más densas que el agua se separan por la acción de la gravedad.

1.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario más común es un tratamiento biológico aerobio seguido de una decantación secundaria. En un tratamiento biológico, las bacterias y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno) a valores inferiores a 100 mg/l. La velocidad de degradación depende de que se hallen presentes los microorganismos adecuados. Los principales tipos de procesos biológicos son los de cultivos suspendidos y los de cultivo adherido o de película fija. Los primeros son aquellos donde una población de microorganismos, principalmente bacterias, nace, crece y se desarrolla en la masa de agua del reactor en forma suspendida. El segundo, el cultivo adherido o de película fija es un cultivo que se forma, debido a las bacterias que crean una masa o película que crece en un medio físico.

A) Tratamientos aerobios

Los tratamientos aerobios son aquellos en que la biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno. El carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO_2 , con producción de energía, y en parte es anabolizada para mantener materia celular. Existen distintos tipos de procesos aerobios, cuya selección depende del volumen, concentración, características de las sustancias disueltas, variabilidad del vertido y del costo de la energía.

A.1) Lodos activados

El proceso de lodos activados consiste en poner en contacto en un reactor el agua residual, la biomasa y el oxígeno disuelto, en condiciones de agitación suficiente para mantener la biomasa en suspensión y asegurar un buen contacto con el oxígeno disuelto. Después de un tiempo de reacción suficiente, la masa de lodos activados se lleva a un sedimentador secundario donde se separa el agua clarificada. Parte de los lodos sedimentados se devuelven al reactor para mantener la concentración de biomasa requerida y el resto se elimina como purga. La proporción de lodos que hay que recircular es un parámetro fundamental para el control de una depuradora biológica.

El proceso de lodos activados convencional es el más utilizado cuando se desea un efluente final de calidad, el terreno disponible es limitado y los volúmenes a tratar son importantes. Sin embargo, el bajo tiempo de retención hidráulica (4 y 8 hrs) lo hace sensible a las descargas tóxicas puntuales y a los choques hidráulicos, además requiere personal operativo experimentado.

Los **sedimentadores secundarios** son similares a los primarios, pero los lodos que contienen, de origen biológico, son más fluidos y difíciles de concentrar. En los sedimentadores circulares primarios todos los lodos se llevan mediante rasquetas hacia el pozo central de recogida. El tiempo de eliminación de lodos es, por lo tanto, función del diámetro. Los sedimentadores secundarios de gran tamaño suelen ir provistos de un sistema de succión sobre toda la superficie del fondo para evitar reacciones biológicas propias de tiempo de residencia prolongados que pueden perjudicar el proceso de sedimentación. Además, con tamaños importantes se puede mejorar la eficacia con el sistema de alimentación y salida periférica, que requiere mayor profundidad del tanque pero permite disminuir sensiblemente el diámetro.

A.2) Sistemas de aeración

En los **sistemas de aeración**, el aporte de oxígeno se realiza mediante aeradores mecánicos o mediante difusores. Existen varios tipos de aeradores. Los más comunes son las turbinas de aeración superficial. En las zanjas de oxidación se emplean cepillos cilíndricos con aletas metálicas o discos con resaltes que, al girar, proyectan al aire partículas de agua que entran en contacto múltiple al igual que en las turbinas. También se emplean bombas con un eyector incorporado que cuida de mezclar el aire y el agua. Los difusores pueden ser de burbuja gruesa o fina, siendo esta última la de mayor eficacia.

A.3) Lagunas

El tratamiento secundario se puede llevar en grandes **lagunas** aeradas, llevando al caso extremo la aeración prolongada, utilizando grandes tiempos de retención entre uno y tres días que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que

requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente. En zonas frías son poco eficientes.

Las lagunas pueden realizarse sin aeración artificial, con lo cual las condiciones pasan a ser más o menos anaerobias. Los tiempos de retención son mucho mayores, de 5 a 50 días, y la eliminación de DBO, en general, insuficiente 50% al 80%, por lo que suelen requerir un tratamiento aerobio final. El lagunaje anaerobio no puede utilizarse en cualquier lugar por el mal olor que puede desprender.

A.4) Filtro percolador o filtro biológico

El filtro percolador o filtro biológico es una de las alternativas, contrariamente al lagunaje, en donde los elevados costos de terreno en las zonas industrializadas no afecta ya que la solución es muy compacta, aunque pueden representar una inversión inicial superior.

El filtro percolador o filtro biológico está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aerobios con aspecto de limo. Modernamente, se utiliza como relleno material plástico de una configuración especialmente desarrollada, de alta superficie y poco peso por unidad de volumen. La altura del filtro puede alcanzar hasta 12 m.

El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor, rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material celular y bióxido de carbono.

Los filtros percoladores no permiten reducir, de forma económica, más allá del 85% de la materia orgánica, pero son más fáciles de operar que un sistema de lodos activados y en cambio, permiten el tratamiento barato de aguas de alta concentración.

A.5) Contactor biológico rotativo (biodisco)

El **contactor biológico rotativo**, llamado **biodisco**, biocilindro o biorrotor, según su especial configuración, es otra interesante variante. Es tan eficaz como el proceso de lodos activados, requiere de un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesta alrededor de un eje horizontal. El cuerpo típico es de polietileno de alta densidad y con gran superficie específica. Una unidad de 3.6 m de diámetro y 7.5 m de largo puede tener hasta 15,000 m² de superficie.

Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar. Sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua. Al igual que en el filtro percolador, la producción final de sólidos es mínima, comparado con el proceso de lodos activados.

B) Digestión anaerobia

La **digestión anaerobia** se utiliza para aguas residuales con alta carga orgánica (2,000 a 30,000 o más mg de DBO/L) la digestión anaerobia puede representar la solución más conveniente. Estas concentraciones se dan en muchos residuos de la industria agroalimentaria. En un reactor anaerobio, cerrado para evitar el contacto del aire, la materia orgánica soluble y coloidal, se transforma en ácidos volátiles que, a su vez se transforman en metano y CO₂. Distintos tipos de bacteria producen las fermentaciones ácida y metánica. El gas generado contiene alrededor de un 65% de metano, lo cual permite aprovecharlo para mantener la temperatura idónea de la digestión, alrededor de los 37°C, y según las características del agua residual, disponer de un excedente de energía. Las ventajas aumentan cuando, además de ser de alta carga, el vertido industrial es caliente.

Existen diferentes formas de realizar la digestión anaerobia. El proceso de contacto es el de aplicación más universal y fácil de utilizar cuando el líquido lleva cantidades importantes de sólidos en suspensión. El filtro anaerobio lleva un relleno interno sobre el que se adhiere la biomasa y es el único en que el líquido puede circular hacia arriba o hacia abajo. El sistema UASB no lleva ningún material de soporte de los

microorganismos sino que es la propia biomasa que produce unos flocúlos o granos relativamente densos que actúan de autosoporte. Por último está el proceso en lecho fluidificado que ofrece rendimientos óptimos en muchas aplicaciones últimamente investigadas. Los sistemas anaerobios son de desarrollo reciente y tienen un potencial muy superior de utilización, que se reforzará si el costo de la energía se incrementa.

1.3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Los tratamientos terciarios completan el tratamiento de las aguas residuales cuando se necesita una depuración mayor de la conseguida con los tratamientos primario y secundario, sobre todo cuando el uso final del agua es para consumo humano.

A) Filtración

La filtración se utiliza para eliminar los sólidos que puedan haber sido arrastrados a la salida del sedimentador secundario, además de sus aplicaciones en tratamientos especiales. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava, antracita, otro material adecuado, o una combinación de ellos. El pulido de efluentes del tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría crecientes, duales o multimedia, filtrando en lo profundo porque el fango arrastrado bloquearía fácilmente un filtro de arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flocúlos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua.

B) Adsorción

La adsorción con carbón activado se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico. El carbón más usado es de forma granular, que puede regenerarse después de su agotamiento. A veces el carbón activado se añade en el tratamiento por lodos activados para eliminar sustancias tóxicas que puedan inhibir el crecimiento celular. El carbón activado también tiene la virtud de atrapar cloro.

C) Oxidación

Una alternativa para eliminar ciertos compuestos orgánicos es su destrucción por **oxidación con ozono**, O_3 . En algunos casos la ozonización se puede activar o complementar con **luz ultravioleta**. Los compuestos alifáticos insaturados y los aromáticos se oxidan con ozono, pero bajo ciertas condiciones pueden generar sustancias fenólicas tóxicas. La combinación ozono/UJV es efectiva para tratar pesticidas.

Otra forma de provocar la **oxidación**, es utilizar **cloro** o **hipoclorito sódico**. La cloración final del agua depurada se emplea para lograr su esterilización, gracias a su poder oxidante de la materia orgánica. La cloración es además importante en otros procesos de oxidación, como el tratamiento de las aguas cianuradas, vertido típico de los procesos galvánicos.

D) Aeración prolongada

Los vertidos con grandes cantidades de productos orgánicos nitrogenados pueden causar problemas por su alta demanda de oxígeno en el tratamiento, usualmente biológico. Partiendo de la forma más reducida, que es el amoníaco, el tratamiento en condiciones aerobias produce su nitrificación. La formación de nitritos, en un primer paso es una reacción lenta, mientras que el paso siguiente a nitratos es muy rápido. Para evitar el vertido de los nitratos, el tratamiento biológico se complementa en una zona anóxica (sin oxígeno), donde tiene lugar la **desnitrificación** que libera nitrógeno gaseoso.

E) Precipitación química

Otros compuestos que pueden perjudicar el cauce receptor del vertido son los fosfatos, por su influencia decisiva en el crecimiento de las algas. La eliminación de fosfatos se realiza parcialmente en los tratamientos biológicos, pero su tratamiento masivo se realiza por **precipitación química**, usando iones metálicos polivalentes, calcio hierro o aluminio y un pH específico para cada ion.

F) Osmosis Inversa

La ósmosis inversa viene justamente como su nombre lo indica de: la inversa de la ósmosis. El movimiento del agua desde el suelo hacia las raíces de las plantas es un ejemplo de ósmosis en la naturaleza, cuando una membrana semipermeable como la de una pared de una célula viva, separa dos soluciones que tienen concentraciones diferentes, el agua pura fluye desde la solución menos concentrada a través de la membrana hacia la solución que contiene la mayor concentración de sólidos. Este proceso se produce continuamente en los órganos de los seres vivos, y es un ejemplo de la forma en que el agua es transportada en la naturaleza. La ósmosis inversa se produce naturalmente al aplicar una presión artificial a la solución del agua de mayor concentración de sólidos. El agua fluye de la solución más concentrada a la menos concentrada, dando como resultado la disminución de minerales en el agua.

G) Diálisis

Aunque la diálisis rara vez se usa para purificar o renovar el agua, es un proceso de separación por membrana que se emplea para regenerar soluciones químicas fuertes con objeto de evitar que sus desechos se conviertan en problema. En la diálisis simple, la fuerza impulsora es el gradiente de la concentración a través de la membrana. La membrana tiene poros a través de los cuales puede difundirse el soluto. Los iones de gran radio iónico se difunden más lentamente que aquellos de radio más pequeños, de modo que es posible una separación de especies iónicas. Los solutos o coloides que son demasiado grandes para pasar a través de la membrana son retenidos en el concentrado. Puede pasar alguna cantidad de agua en dirección opuesta al flujo de iones en virtud de la presión osmótica. Las membranas más utilizadas están hechas de un tipo de celofán hidratado.

H) Electrodialisis

En la electrodialisis la fuerza impulsora es de carácter eléctrico. Membranas semipermeables, que tienen propiedades de intercambio de anión y de catión son apiladas en forma alternada en una prensa con pasillos angostos de agua entre ellas. Cuando se aplica una corriente directa a los electrodos colocados en cada lado de las

membranas apiladas, los aniones se desplazan hacia el ánodo y los cationes hacia el cátodo. Ya que la membrana de intercambio de cationes solo permite el paso de los cationes y la membrana de intercambio de aniones el paso de aniones, la alternancia de membranas genera concentración y dilución en los compartimientos alternados del apilamiento. La velocidad de flujo a través de estos compartimientos pequeños o canales, el número de pilas empleadas y la magnitud de la fuerza impulsora o de la corriente eléctrica aplicada, determinan la cantidad de sales (cationes más aniones) removida del agua.

Después de cualquier tratamiento ya sea primario, secundario o terciario se necesita aplicar la desinfección, para controlar la proliferación de bacterias y virus, y así tener un control de las enfermedades y demás daños a la salud.

1.4 DESINFECCIÓN

1.4.1 DEFINICIÓN

Es la actividad para someter el agua residual a procesos fisico-químicos, orientados a reducir la concentración de microorganismos patógenos a un nivel de seguridad sanitaria.

La desinfección de las aguas y aguas residuales, es decir, la destrucción de los patógenos hídricos, no se logra a través de medios biológicos, sino físicos y químicos. Además, la desinfección química ofrece mayores posibilidades de éxito que la desinfección física. La desinfección del agua, es sin duda, el arma más poderosa que pueden usar las autoridades encargadas de la sanidad y el control de las aguas, en contra de las infecciones hídricas. En particular, la cloración del agua conduce a una erradicación substancial de las enfermedades hídricas a un costo pequeño en equipo, materiales y personal.

La esterilización no es sinónimo de la desinfección. Aquella implica la destrucción de todos los seres vivos en el medio esterilizado. Generalmente, la producción de agua estéril se limita a la investigación, práctica médica y manufactura de productos farmacéuticos y químicos especiales. El agua potable no necesita ser estéril. Sólo se debe emplear el término esterilización cuando se requiere alcanzar una esterilidad verdadera.

Los patógenos de todos tipos y clases son removidos del agua y las aguas residuales, en un grado variable, por la mayoría de los procesos convencionales de tratamiento. En el curso del tratamiento, los patógenos también mueren o son destruidos en cantidades significativas. En cambio la desinfección intencional de las aguas y aguas residuales tiene la misión específica de matar, en forma selectiva si es necesario, aquellos organismos vivientes que pueden difundir o transmitir infecciones a través de ella. El interés principal es doble: 1) prevenir la transmisión directa de enfermedades al hombre a través del agua y 2) romper la cadena de enfermedades e infecciones al destruir a los agentes infectantes responsables, antes de que alcancen el medio acuático. Antiguamente, rara vez se llevo a cabo, en forma vigorosa, la desinfección de aguas residuales, sin embargo, esta destinada a recibir una mayor atención conforme crecen las poblaciones y se intensifican la recreación y urbanización. La seguridad en las aguas de albercas y estanques para la cría de crustáceos o cultivo de hortalizas, plantea cuestiones propias.

Son tres las categorías de patógenos humanos entéricos que generalmente son de graves consecuencias: bacterias, virus y quistes de amibas. La desinfección intencional debe ser capaz de destruir a todos estos patógenos. Afortunadamente, existen desinfectantes que pueden lograrlo. Sin embargo, otros desinfectantes útiles solo son aceptablemente efectivos contra uno o dos de ellos.

Para que sean de utilidad práctica los desinfectantes deben poseer las siguientes propiedades:

1. Deben destruir las clases y números de patógenos que se puedan introducir a las aguas o aguas residuales municipales, y además, hacerlo dentro de un lapso practicable de tiempo, de una gama esperada en la temperatura del agua, y de las posibles fluctuaciones en composición, concentración y condición de las aguas o aguas residuales sujetas al tratamiento.

2. En las concentraciones requeridas, no deben ser tóxicos al hombre ni a sus animales domésticos, ni de sabor desagradable u objetables por alguna otra razón.

3. Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, manipular y aplicar.

4. Su concentración en el agua tratada debe ser determinable con facilidad, rapidez y de preferencia, automáticamente.

5. Deben persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual razonable contra la posible recontaminación del agua antes de utilizarla; o bien, debido a que esta no es una propiedad que se obtenga normalmente, la desaparición de los residuos será un aviso de que ha tenido lugar la recontaminación. Todavía no se han agregado al agua compuestos independientes que sirvan como centinelas contra la recontaminación.

Como regla, la concentración de los desinfectantes, de acuerdo con su naturaleza, se determina por mediciones físicas o mediante análisis químico, en tanto que su eficiencia desinfectante; en todos excepto en los estudios experimentales; se determina por la reducción de organismos indicadores (generalmente organismos coliformes) a números que implican una seguridad estadísticamente aceptable contra una posible infección. Se efectúan estudios correlativos de laboratorio sobre la destrucción de los patógenos, ya sea con cultivos de laboratorio o con organismos desarrollados a partir de portadores o de enfermos.

Para tener la misma importancia que los organismos desarrollados, deben ser conocidos o demostrar que son igualmente resistentes. Una concordancia de los resultados a través de la exposición concurrente de organismos indicadores, como el grupo de bacterias coliformes, o de los miembros entéricos específicamente humanos de dicho grupo, proporciona información útil respecto a lo que se puede esperar en la práctica normal de la desinfección.

El agua se puede desinfectar, como ya se dijo, en una serie de formas categóricas ya sea por métodos físicos y químicos. Entre los métodos físicos tenemos el incremento o reducción de la temperatura, como ebullición y congelamiento o refrigeración; filtración y ultra filtración que es aplicable pero con ciertos límites; y la utilización de rayos ultravioleta. Entre los métodos químicos se tiene la utilización de cloro y compuestos de

cloro, yodo, bromo, metales pesados como: zinc, cadmio, arsénico, mercurio, plomo y ozono.

1.4.2 BASES DE LA DESINFECCIÓN QUÍMICA

Algunos investigadores han mostrado, por ejemplo, que las especies desinfectantes del cloro, reaccionan con las enzimas que son esenciales para los procesos metabólicos de las células vivientes. Las células mueren cuando no son activadas estas sustancias claves. La destrucción de las enzimas también permanece siendo el mecanismo letal primario de los desinfectantes cuando un proceso radical, como el de calentamiento, coagula los contenidos de las células. Debido a que las enzimas se generan dentro del plasma de la célula, la desinfección química procede teóricamente en dos etapas: 1) penetración de la pared de la célula, y 2) reacción con las enzimas celulares.

Los factores que gobiernan a la tecnología de la desinfección química caen esencialmente dentro de las siguientes cinco categorías:

1.- *La naturaleza de los organismos que se van a destruir, así como su concentración, distribución y condición en el agua sujeta a desinfección.* Las bacterias que no forman esporas son menos resistentes a la desinfección que las que sí las originan, pero, como se estableció previamente, las esporógenas generalmente carecen de importancia en la desinfección de aguas. Entre las bacterias entéricas, la *Esch. coli* parece ser algo más resistente que las bacterias patógenas. Esto la convierte en un organismo útil de prueba. Los quistes de *Etamoeba histolytica* son muy resistentes. Sin embargo, una serie de virus entéricos, son mensurablemente más resistentes a la cloración que la *Esch. coli*. Son ejemplos los virus de la poliomielitis Tipo 1 y Coxsackie A2. El virus de la hepatitis infecciosa parece ser un organismo especialmente resistente. Sin embargo, esta conclusión se basa sobre una evidencia inadecuada en relación con la desinfección química. Se ha encontrado que el Adenovirus Tipo 3 es menos resistente que la *Esch. coli*. Generalmente la concentración de los organismos pierde importancia, a menos que sea tan elevada que la oxidación de la materia celular constituyente compita con el desinfectante. Cuando las bacterias, como los estafilococos, forman grumos de células, las células interiores protegidas pueden sobrevivir intactas. Para que los alcancen

los desinfectantes de poder o intensidad medios, los organismos deben estar distribuidos uniformemente y moverse en el agua; esto se puede obtener mediante la agitación.

2.- *La naturaleza, distribución y concentración de la substancia desinfectante y de sus productos de reacción en el agua sujeta a desinfección.* Por ejemplo, el cloro y sus compuestos pueden formar en el agua una serie de especies de cloro con eficiencias desinfectantes bastante diferentes. Para poseer un poder o intensidad medios, los desinfectantes se deben encontrar distribuidos uniformemente en el agua. Para ello, se requiere también la agitación.

3.- *La naturaleza y condición del agua que se va a desinfectar.* La materia suspendida puede proteger a los organismos embebidos en ella contra la desinfección química, así como contra los rayos destructores de luz. La materia orgánica asimila a los productos químicos oxidantes. Otras sustancias reaccionan con los desinfectantes químicos y cambian su estructura. Algunos de los compuestos resultantes pueden ser ineficientes; algunos aun pueden llegar a ser inocuos. En cloración de aguas, el pH es de suma importancia.

4.- *La temperatura del agua bajo desinfección.* Mientras más alta sea la temperatura más rápida es la destrucción.

5.- *El tiempo de contacto.* A mayor tiempo más amplia la oportunidad para la destrucción. Bajo condiciones de flujo, el tiempo mínimo de desplazamiento es un factor gobernante.

Un examen crítico de estas cinco categorías lleva a la conclusión de que para la desinfección de un agua determinada, los siguientes factores constituyen variables controladas: 1) la naturaleza y concentración de desinfectante, 2) el grado de agitación al que se sujete el agua, 3) el tiempo asegurado de contacto entre los organismos y el desinfectante. Las demás son restricciones que no se pueden remover, a menos que sea posible purificar el agua antes de la desinfección, calentarla y cambiar su pH directamente o mediante el cambio del punto de desinfección hacia alguno en el que el agua pueda poseer un pH favorable.

Se deduce que el punto fundamental de este tema consiste en un estudio de la cinética de la desinfección. Cuando un producto químico es el desinfectante, resulta determinante la concentración de la especie química activa en la superficie de cada organismo que se deba exterminar. Cuando la energía radiante es el desinfectante, el factor operacional está constituido por su intensidad en la superficie celular. Cuando el desinfectante es el calor el elemento energizante es la temperatura o potencial térmico del agua.

1.4.3 MÉTODOS FÍSICOS DE DESINFECCIÓN

A) Filtración y ultrafiltración

En el proceso más simple de separación por membrana ésta actúa como una barrera porosa para la filtración. El agua es forzada a pasar a través de la membrana por un diferencial de presión a través de ella. Los poros en la membrana pueden ser bastante grandes, en general de 0.1 micra o mayores. Cuando la membrana se utiliza como un dispositivo analítico para detectar sólidos suspendidos en una muestra de agua, se emplea por lo común un poro de 0.45 micras. La membrana puede hacerse de diversos materiales como acetato de celulosa. El número de poros por unidad de área y su forma o configuración pueden variar en gran manera y esto influye en la velocidad de producción y la calidad. También son factores importantes la química de la membrana y la estructura.

En la filtración los sólidos suspendidos son removidos sobre la superficie de la membrana. Si los sólidos suspendidos son viscosos o de fácil compresión en la superficie, la membrana puede llegar a obstruirse tanto como cualquier otro medio de filtrado, y las velocidades de filtración pueden reducirse a niveles de poco uso práctico; entonces debe detenerse el proceso y puede requerirse el reemplazo de la membrana. Rara vez pueden limpiarse las membranas por una limpieza con agua. Las membranas empleadas en la filtración remueven poco material coloidal o disuelto. La eficiencia con la cual son removidos los sólidos suspendidos muy finos depende primariamente del tamaño y la forma de los poros y del tipo de torta del filtro que se desarrolle durante la filtración.

A medida que se hace más pequeño el tamaño del poro de la membrana, o sea, muy por debajo de 0.1 micra, aumenta substancialmente la diferencia de presión requerida para producir velocidades aceptables de flujo. Los procesos que emplean

membranas de poro pequeño y presiones elevadas, llamados de ultrafiltración (UF), requieren por lo general de diferencias de presión que exceden los 20 psi (1.4 kg/cm²). El propósito de emplear poro de tamaño más pequeño es eliminar del agua coloides y ciertos materiales orgánicos de peso molecular elevado. Sin embargo, este tamaño pequeño de poro hace a las membranas aún más susceptibles al atascamiento que las membranas de filtrado. En ciertas configuraciones, las membranas de UF pueden retrolavarse con agua para resolver este problema. Las membranas de UF pueden dañarse permanentemente por el calor o presiones excesivas causando que baje drásticamente el flujo.

Más pronunciado que en la filtración directa, el carácter y la forma de la membrana de UF es crítica respecto a los resultados obtenidos. Para obtener velocidades aceptables de flujo la membrana semipermeable de UF tiene por lo común una piel extremadamente fina sobre la superficie de un sustrato más poroso y más grueso. Se dice que este tipo de membrana es anisotrópica. El espesor de la piel puede ser sólo de 1 a 5 micras, mientras que el espesor del sustrato puede ser de 25 a 50 micras.

B) Rayos ultravioleta

La luz solar es un desinfectante natural, principalmente como agente desecante. La irradiación por la luz ultravioleta intensifica la desinfección y la convierte en un agente controlable. La fuente más común de luz ultravioleta es una lámpara de vapor de mercurio construida con cuarzo o vidrio especial igualmente transparente a la luz intensa, destructiva e invisible de 2537 Å (10⁻⁸ cm) emitida por el arco de vapor de mercurio.

La energía radiante se presenta bajo la forma de unidades discretas o cuantos, $E = hc/\lambda$, en donde E es la energía de un solo cuanto en ergs, h es la constante de Planck (6.62×10^{-27} ergseg), c es la velocidad de la luz (3×10^{10} cm por seg), y λ es la longitud de onda de la radiación en centímetros. Por definición, una unidad germicida es una intensidad de 100 mw por cm cuadrado para radiaciones de longitudes de onda de 2537 Å. De acuerdo con esto, se pueden identificar las efectividades relativas de otras radiaciones. El coeficiente de atenuación de la luz ultravioleta de 2537 Å varía desde 0.03 cm⁻¹ para el agua filtrada a 0.2 cm⁻¹ para aguas no filtradas que abastecen a las municipalidades en Norteamérica.

Se conoce que las exposiciones de la *Escherichia coli* a 3,000, 1,500 y 750 mW-seg por cm², producen 99.99, 99, y 90% de mortalidades o factores de descontaminación de 10⁴, 10² y 10 respectivamente. Aproximadamente, el 2% de la radiación incidente de 2537 Å procedente de una fuente de luz ultravioleta, se refleja en la superficie del agua. La reflectividad del aluminio es del 90%.

Para asegurar la desinfección, el agua se debe encontrar libre de sustancias que absorben la luz, por ejemplo, los compuestos fenólicos y aromáticos de otro tipo, incluyendo el ABS y de materia suspendida que interponga una sombra a los organismos contra la luz; debe ser adecuado el producto tiempo-intensidad de la exposición, y el agua debe estar sujeta a una buena mezcla durante la exposición en películas relativamente delgadas, con objeto de contrarrestar su adsorividad propia.

El principal componente de un sistema de luz ultravioleta está constituido por el foco ultravioleta que tendrá una vida útil determinada previamente, y este se reemplazará cada que esta vida útil finalice.

La radiación ultravioleta: La luz ultravioleta (UV) es invisible dentro de un rango del espectro solar. Esta es similar a las longitudes de onda que son producidas por la luz visible, pero mucho más corta. La radiación ultravioleta se mide en millonésimas de milímetro, en unidades Angstrom (una unidad Angstrom de longitud de onda equivale a una cien-millonésima de un centímetro), y como la luz visible, primeramente tiene un efecto superficial. Dentro del espectro de radiación Ultravioleta, hay tres grupos principales, rango de bronceado, rango germicida y rango de formación de ozono.

Las unidades de lámparas de radiación Ultravioleta de 2537 Angstrom (ó 254 Nanómetros) de longitud de onda deben golpear a los microorganismos para inactivarlos, y cada microorganismo debe absorber una cantidad específica de energía para ser destruido.

Las proteínas y ácido nucleico, que contienen todos los microorganismos como su principal constituyente, absorben energía de radiación ultravioleta. Después de absorberla, la energía ultravioleta destruye o inactiva el DNA (Acido Desoxirribonucleico), esto evita que los microorganismos continúen reproduciéndose.

El foco o lámpara germicida se encuentra dentro de un tubo de cuarzo que puede estar constituido de diferentes materiales, como mangueras de teflon, pero se recomienda un cristal que permita el paso de más del 99% de los rayos ultravioleta generados por el foco, para que su acción germicida sea eficiente.

El tubo de cuarzo y el foco de rayos ultravioleta se deben de encontrar dentro de una cámara de desinfección, que preferentemente debe de ser de acero inoxidable para evitar su oxidación por el paso del agua. La lámpara y el tubo de cuarzo quedan sumergidos dentro del agua, aunque existe la posibilidad de que estos actúen fuera del agua en forma suspendida. Estos componentes se encuentran dentro de un gabinete que puede ser de lámina galvanizada esmaltada que contendrá un reactor.

El Departamento de Salud Pública en los Estados Unidos indica que los equipos de desinfección ultravioleta tengan una dosificación mínima de 16,000 microwatt por seg/cm^2 . Esto significa que serían destruidos la mayoría de los microorganismos patógenos que pudiera contener el agua.

Existen otras formas de energía radiante y sónica que destruyen los microorganismos, pero aún no encuentran una aplicación dentro de la ingeniería en la desinfección de aguas. Ni la luz ni el sonido producen o dejan residuos de desinfectante o sustancias indicadoras identificables.

Existen otros métodos de desinfección como la variación de temperatura a niveles de ebullición o congelamiento del agua, esto puede imposibilitar el crecimiento de bacterias, sin embargo, cabe señalar que son métodos más bien utilizados en desinfección de agua potable no en aguas residuales debido a sus costos tan altos en mantenimiento. Solo se utiliza este tipo de métodos para casos muy específicos.

La elevación de la temperatura del agua hasta su punto de ebullición le proporcionará la desinfección. Debido a que ninguna de las enfermedades hídricas peligrosas es causada por bacterias formadoras de esporas o por otros organismos resistentes al calor, ésta constituye una práctica segura y recomendable cuando hay dudas sobre la seguridad del agua potable. También se recurre a ella como una medida

de emergencia, bajo la forma de *órdenes de hervir el agua*, emitidas por las autoridades encargadas de la sanidad y control del agua.

La naturaleza ha producido organismos selectos que pueden vivir a temperaturas tan bajas como 0 °C y tan altas como 70 °C. A temperaturas más elevadas mueren todos los microbios. Los microbios de crecimiento más activo, de interés en la tecnología de tratamiento de agua, mueren a 70 °C en menos de 5 minutos. El mantenimiento de temperaturas bajas no es un medio efectivo para matar microbios. De 0 a 5 °C los organismos se vuelven inactivos. La congelación mata muchas células, pero aquellas que sobreviven son capaces de recuperarse completamente del "choque".

1.4.4 MÉTODOS QUÍMICOS DE DESINFECCIÓN

La exposición del agua, durante un lapso suficiente, a productos químicos de las siguientes clases, en concentraciones adecuadas, dará por resultado su desinfección.

Productos químicos oxidantes. Estos comprenden 1) los halógenos (cloro, bromo y yodo) desprendidos en forma adecuada de fuentes aceptables; 2) ozono; 3) otros oxidantes como el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno.

Entre los halógenos, el cloro gaseoso y una serie de compuestos de cloro son los más útiles económicamente. El bromo (Br_2) se emplea en escala limitada para la desinfección de aguas de albercas; el yodo se utiliza para la desinfección de piscinas y de pequeñas cantidades de agua potable en el campo. Se puede obtener yodo elemental bajo la forma de tintura de yodo. Se han puesto a la venta tabletas de peryoduro de tetraglicina, para su uso en el campo.

El ozono es un buen desinfectante pero relativamente costoso, generalmente no deja un residual indicador medible. Sin embargo, tiene a su favor, su habilidad para destruir una serie de olores desagradables y blanquear el color en forma efectiva. También el permanganato de potasio es un desinfectante relativamente caro.

Un axioma de la desinfección por medio de compuestos químicos, es que la capacidad oxidante de un compuesto no es necesariamente una medida de su eficiencia

desinfectante. Así, el peróxido de hidrógeno es un oxidante fuerte, pero un desinfectante pobre.

Iones metálicos. Los iones de plata no son viricidas ni quisticidas en concentraciones aceptables, pero son bactericidas. Es lenta la desinfección a las concentraciones bajas empleadas, tan reducidas como $15 \mu\text{g}$ por L (microgramos por litro, o aproximadamente, partes por mil millones). Esto constituye una debilidad de la plata. Además, la plata es costosa a las concentraciones que se utilizan. Los iones de cobre son fuertemente algicidas, pero sólo débilmente bactericidas.

Alcalis y ácidos. Las bacterias patógenas no prevalecen por lapsos largos en aguas fuertemente alcalinas o fuertemente ácidas, es decir, a valores de pH muy altos (>11) o muy bajos (< 3). Un buen ejemplo es la destrucción incidental de bacterias por la cal cáustica utilizada para suavizar el agua.

Productos químicos tensoactivos. Entre los agentes tensoactivos los detergentes catiónicos son fuertemente destructores y los aniónicos lo son sólo débilmente. Los detergentes neutros ocupan una posición intermedia. Los detergentes se han aplicado selectivamente sólo como desinfectantes en las aguas de lavado y de enjuague que se utilizan en los establecimientos destinados a la alimentación.

En resumen, se puede decir que para la desinfección rutinaria de aguas municipales e industriales, sólo un producto químico (el cloro) es tan eficiente como razonablemente barato; un segundo (el ozono) es eficiente pero relativamente caro y no es lo suficientemente persistente para fines de indicación; y un tercero (el calor) es relativamente más costoso y carente de propiedades indicadoras. Lo que hace al calor especialmente útil es que generalmente se puede poner en disponibilidad con una anticipación de momentos solamente, en tiempos de emergencia.

Aun cuando la desinfección de las aguas y aguas residuales se dirige casi por completo hacia la destrucción de los gérmenes unicelulares, es de gran importancia en algunas partes del mundo, la exterminación de las Cercarias de los Equistosomas y de los Gusanos de Guinea adultos que infectan a los Cyclops. Sin embargo, aun si se incluyen estos organismos grandes, la masa protoplásmica involucrada es relativamente tan

pequeña, que los desinfectantes químicos pueden lograrlo con éxito en concentraciones diminutas y en cortos periodos.

Es importante señalar también, que los compuestos químicos desinfectantes, como el cloro, no sean tóxicos para el hombre en las concentraciones empleadas. El agua fuertemente clorada puede ser aparentemente ingerida sin peligro, no sólo por el hombre y los animales superiores, sino también por otros seres vivientes con menor grado de organización, como los peces pequeños y otros organismos acuáticos en el medio hidrológico balanceado, sin embargo a largo plazo, acarrear problemas, como es el cáncer en los seres humanos.

A) Compuestos de cloro

Los compuestos del cloro más frecuentemente utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual son el hipoclorito de sodio y de calcio y el gas cloro. Los dos primeros se han empleado en plantas de tratamiento muy pequeñas, tales como plantas prefabricadas donde la sencillez y seguridad eran mucho más importantes que el costo.

Hipoclorito cálcico. Comercialmente puede encontrarse en forma seca o húmeda. El hipoclorito de calidad contiene, por lo menos, un 70% de cloro disponible. En forma seca, se encuentra en gránulos o en polvo, tabletas comprimidas o pastillas. Existe una gran variedad de tamaños de recipientes, que dependen de la forma en que se adquiera aquél. Las formas preferidas son las pastillas o los gránulos de hipoclorito cálcico, ya que se disuelven fácilmente en agua y, en las debidas condiciones de almacenaje, son relativamente estables. Dado su potencial oxidante, el hipoclorito cálcico debe guardarse en un local seco y frío, apartado de otros productos químicos en recipientes anticorrosivos.

Hipoclorito sódico. Se puede encontrar en concentraciones de 1.5 al 15 % siendo 3% la concentración usual máxima; por ello los costos de transporte pueden limitar su aplicación. La solución se descompone más fácilmente a mayores concentraciones y se ve afectada por la exposición a la luz y al calor. Tiene, por lo tanto que guardarse en lugar frío en un tanque resistente a la corrosión. Sin embargo, cuando se disponga de

hipoclorito sódico aún precio razonable, su empleo deberá tomarse en consideración por parte del ingeniero proyectista.

Gas Cloro. El cloro se suministra como un gas licuado a alta presión en bombonas que varían de tamaños de 50 a 75 kg. hasta receptáculos de toneladas, como camiones transportando hasta 15 recipientes de una tonelada o los camiones - cisterna con capacidad para 16, 30 y 50 toneladas. La elección del tamaño del recipiente a presión depende del estudio económico sobre costos de transporte, almacenamiento, ocupación de espacios y cantidad de cloro utilizado. Las instalaciones de almacenamiento y manipulación pueden proyectarse con la ayuda del material facilitado por la Federación of Sewage and Industrial Wastes Associations y el Chlorine Institute de USA.

Se tratará el tema de gas cloro con profundidad en los capítulos subsecuentes.

B) Desinfección por ozono

El ozono, O_3 , de la palabra griega *ozein*, oler - recibió este nombre en 1839 por el químico alemán Schönbein. Notó el olor característico del ozono cerca de los aparatos mecánicos eléctricos y operados mediante bandas. Muchos años antes, el físico holandés Van Marum (1783), había notado ya este olor. La producción intencional del ozono por la descarga de corona de electricidad de alto voltaje al aire seco fue introducida por el ingeniero electricista alemán Werner von Siemens (1816-92).

Tanto en el aire como en el agua, el ozono se descompone rápidamente en presencia de materia oxidable. Es corrosivo y venenosos en concentraciones fuertes en la atmósfera, y su *generación fotoquímica, junto con los vapores de gasolina de los escapes de automóviles, produce las brumas (smogs) que irritan ojos, garganta y pulmones.* El límite peligroso en la operación de plantas de tratamiento, se establece comúnmente a 0.2 mg de O_3 por m^3 de aire.

Si el ozono se emplea efectiva y eficientemente como un desodorante decolorante y desinfectante del agua potable, se deben conocer sus *propiedades físicas y químicas en solución acuosa, así como su influencia sobre los gérmenes a lo largo de toda la gama de exposiciones posibles.* Esto se está conociendo cada vez más. Sin embargo, podemos

obtener una percepción de la utilidad y restricciones respecto al uso del ozono, a partir de la siguiente información:

El peso del ozono tiene un valor cercano a 2,154 g por m³. A temperaturas normales, los residuales del ozono desaparecen del agua con rapidez. Esto se muestra por la siguiente relación observada, que a residuales superiores a 1 ppm como Cl₂: $pt = 100 \exp(-0.275t)$, en donde pt es el porcentaje de ozono residual en el tiempo t. Incidentalmente, ya no se recomienda expresar el ozono como cloro.

Sólo en ausencia de materia orgánica el ozono sigue las leyes de los gases ideales, es decir, de aquellos que no reaccionan. El *coeficiente de distribución* del ozono entre el aire y el agua, es decir, la relación de la concentración de equilibrio del ozono en la fase líquida a la de la fase gaseosa a una temperatura y presión similares, se encuentra entonces próxima a 0.6 a 0° y 0.2 a 20°C. El aumento, ya sea de la presión total del sistema o de la presión parcial del ozono en el aire, aumenta la concentración del ozono en el agua en proporción directa a estas presiones. En presencia de sustancias oxidables, son su naturaleza y concentración en el agua, en vez del coeficiente de distribución, los que gobiernan la cantidad de ozono que puede entrar.

Bajo el aspecto de un desinfectante, se dice que el ozono posee propiedades que pueden ser de una efectividad total o también nula, implicando que produce una desinfección especialmente nula por debajo de una concentración crítica, pero también, prácticamente completa sobre dicha concentración. Las pruebas similares del comportamiento del cloro dan como resultado el trazo de una línea más o menos recta en el incremento del factor de descontaminación. Asimismo, generalmente también se destruyen los coliformes y otras bacterias durante el lapso en que se puede detectar un residual de ozono. Se puede situar una estimación preliminar de los requerimientos de ozono para la desinfección de agua limpia en un valor de 1 a 2 mg por L.

B.1) Componentes de un sistema mediante ozono

La sección de aire, en las plantas modernas de ozonización incluye limpiadores, sopladores y secadores por refrigeración así como por adsorción del aire. Estos componentes acondicionan y transportan el aire que se va a ozonizar. En la parte

eléctrica, existe un transformador que eleva el voltaje de la línea y lo descarga hacia el suministro de aire. En el lado del agua, una cámara de contacto de torre de ozono, efectúa la transferencia del ozono desde la fase gaseosa a la fase del agua. Esta es la operación hidráulica y de transferencia de fase clave, y por consiguiente, también el principal componente manejable una vez que se ha seleccionado la unidad ozonizadora.

Debido a que la adsorción del ozono hacia el agua que se va a desinfectar se debe a la oportunidad de contacto, el diseño de la cámara de contacto está orientado hacia la maximización de: 1) la interfaz efectiva, 2) la fuerza motriz o diferencial de concentración y 3) el tiempo de exposición con la debida consideración de las ventajas obtenibles mediante una operación a contracorriente.

Se debe de inyectar las burbujas de aire al interior de una columna de agua que fluya en la dirección opuesta; se inyectara el aire al agua entrante, o bien, a la torre misma de ozonización. Los tiempos de retención son del orden de 10 min.

Como regla, los costos de capital y de operación del equipo de ozonización no pueden competir con los del equipo comparable de cloración para el tratamiento de un agua determinada, amenos que se requiera ozono y sea capaz de remover olores y sabores objetables y reducir el color del agua en forma más efectiva que el cloro en combinación con el carbón activado y los coagulantes. Las comparaciones de los costos de operación se derivan del gasto de energía en contra del costo y los productos químicos auxiliares en circunstancias específicas. La energía utilizada en la conversión de oxígeno atmosférico de 0.5 a 1%, a ozono es de 0.025 a 0.030 kw hr por g de O₃. Si el agua se va a desodorizar y decolorar, así como a desinfectar, la dosis requerida puede ser, aproximadamente, de 2 a 4 mg por L.

CAPITULO 2

TEORÍA DE LA DESINFECCIÓN MEDIANTE CLORACIÓN

11.1 DESINFECCIÓN CON CLORO

En 1908 el cloro se utilizó por primera vez en la desinfección diaria permanente de un abastecimiento municipal de agua en América, cuando George A. Johnson y John L. Leal agregaron hipoclorito de calcio al suministro de agua de Jersey City, N. J.

El cloro elemental fue descubierto por Sheele, constituye el segundo miembro de la séptima columna de la tabla periódica. Se encuentra una capa externa de siete electrones rodeando su núcleo y a causa de que su estructura posee una gran estabilidad, los átomos tienen una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para completar una capa de ocho. La tendencia se manifiesta así misma como una tendencia oxidante. Por consiguiente, el cloro elemental es un poderoso agente oxidante y funciona como tal en la mayor parte de sus reacciones químicas.

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

1. Ácido 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 de pH normal. Las dos especies prevalentes (HOCl y OCl^-) se denominan en la práctica *cloro libre disponible*.

2. Monocloraminas (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. De nuevo, 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 prevalecientes, NH_2Cl y NHCl_2 , se les llama en la práctica *cloro disponible combinado*.

3. Cloraminas orgánicas complejas, especialmente en las aguas negras.

Debido a que el poder desinfectante de las diferentes especies del cloro varía mucho, se debe comprender con profundidad la química de la cloración de otro modo, el cloro y sus compuestos no serán empleados en forma inteligente y eficaz en la desinfección de las aguas y aguas residuales.

Generalmente se determinan colorimétricamente las concentraciones de cloro libre disponible y de cloro combinado disponible mediante la prueba con orto-tolidina y arsenito (OTA).

La prueba se basa en la diferencia favorable que existe en la velocidad de reacción del cloro libre disponible con la orto-tolidina. Se agrega arsenito de sodio (un agente reductor) para detener la reacción después de que el cloro libre disponible ha reaccionado, antes de que haya reaccionado el cloro libre combinado.

Como un agente oxidante fuerte, el cloro reacciona con las sustancias reductoras para producir la demanda de cloro. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias presentes en el agua, el átomo del cloro, al ganar electrones, sufre un cambio a ion cloruro o a un cloruro orgánico. Las sustancias reductoras pueden incluir Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2^- y H_2S inorgánicos, junto con la mayor parte del material orgánico (viviente y muerto): Las sustancias inorgánicas generalmente reaccionan en forma rápida y estequiométrica; la respuesta del material orgánico es generalmente lenta, y su grado de alcance depende de la cantidad de cloro disponible que se encuentre presente en exceso a la cantidad requerida. Debido a que la materia orgánica en los abastecimientos de agua potable se encuentra estrechamente relacionada con su color o tinte natural, su demanda orgánica probable de cloro se puede calcular a partir de la intensidad del color. En forma análoga, la demanda orgánica de cloro de las aguas residuales guarda alguna relación con su DBO, o más precisamente, con su DQO.

Estas reacciones constituyen factores que complican el proceso de la cloración de agua. Se debe agregar suficiente cantidad de cloro para llevar a cabo dichas reacciones, así como también las de desinfección. Para asegurar esto, se toman como normas de objetivo o de 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 especifica a diez minutos. Debido a que la demanda de cloro es una función de la temperatura, concentración y tiempo, 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.

II.1.1 UTILIZACIÓN Y OBJETIVO DE LA CLORACIÓN

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales, industriales y urbanas. Algunos efluentes industriales que normalmente se cloran antes de su descarga a las aguas receptoras son los procedentes de las plantas de azúcar de caña, de azúcar de remolacha, de centrales lecheras, de las fábricas de pasta y papel, de las plantas textiles, de las de curtido, de las petroquímicas, de las farmacéuticas, y de las de acabado superficial de los metales (cromado, electrodeposición, etc.)

Los objetivos de la cloración se pueden resumir de la siguiente manera.

- 1.-*Desinfección.* Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- 2.-*Reducción de la DBO.* El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
- 3.-*Eliminación o reducción de colores y olores.* Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales (azúcar de caña, industrias de conservas, centrales lecheras, pasta y papel, textiles, etc.).
- 4.-*Oxidación de los iones metálicos.* Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganoso a mangánico).

5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos. Esto se lleva a cabo en un medio alcalino con valores de pH superiores a 8.5. La oxidación tiene lugar en dos etapas.

II.1.2 CLORO COMO DESINFECTANTE

Las dosis típicas de cloro requeridas para desinfección se presentan en el cuadro 2.1.

CUADRO 2.1

Efluente de	Intervalo de dosificación (mg/l)
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de precipitación química	2-6
Filtro percolador	3-15
Lodos activados	2-8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activos	1-5

La efectividad del cloro para matar las bacterias viene dada por la ley de Chick, que se escribe en forma diferencial:

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad \text{ec. (1)}$$

en la que N es el recuento de bacterias, t el tiempo, dN/dt la velocidad de eliminación de bacterias, y k una constante de velocidad de eliminación.

Se parando variables e integrando desde t = 0 a cualquier tiempo t:

$$N/N_0 = e^{-kt} \quad \text{ec. (2)}$$

en la que N₀ es el recuento de bacterias a t = 0 y N el recuento de bacterias a tiempo t. La constante de velocidad de eliminación k es una función del pH, de la temperatura y de la concentración aplicada de cloro. Se estima a partir de la pendiente de una representación de ln N/N₀ en función de t, obtenida de un experimento discontinuo basado en la ecuación, que escrita en forma logarítmica es:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt \quad \text{ec. (3)}$$

La eficacia del cloro en la destrucción de distintos organismos corresponde a valores de k desde 0.24 a 6.3 (unidades: min^{-1}) para el 99% de eliminación (esto es, $N/N_0 = 1 / 100 = 0.01$) a 0-6° C.

En la desinfección se utiliza una cámara de contacto continuo en la que se supone condiciones de equilibrio y de mezcla completa (fig. 2.1.). Normalmente, se colocan pantallas interceptando el camino del flujo.

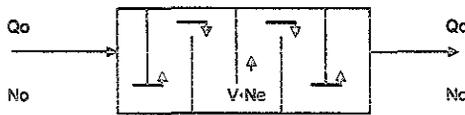


FIGURA 2.1. Reactor continuo para desinfección por cloro.

Sean N_0 y N_e los recuentos de bacteria (coliformes por 100 ml) en el afluente y en el efluente respectivamente. Sean Q_0 y V el caudal y el volumen de reactor, respectivamente. El balance de bacterias (coliformes) conduce a:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Acumulación de} \\ \text{coliformes en} \\ \text{el reactor} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Aumento} \\ \text{debido al} \\ \text{flujo afluente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Disminución} \\ \text{debida al flujo} \\ \text{efluente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Eliminación} \\ \text{de} \\ \text{coliformes} \end{array} \right]$$

En condiciones de equilibrio, la ecuación anterior conduce a:

$$0 = Q_0 N_0 - Q_0 N_e + (dN/dt)(V) \quad \text{ec. (4)}$$

Suponiendo la aplicabilidad de la ley de Chick, $dN/dt = -kN$, y entonces la ecuación anterior igualada a cero, lleva a:

$$0 = Q_0 N_0 - Q_0 N_e + (-kN)(V)$$

$$Q_0 N_0 = Q_0 N_e + kN_e(V)$$

$$Q_0 N_0 = N_e(Q_0 + kV)$$

$$N_0 = N_e \left(1 + k \frac{V}{Q_0} \right)$$

$$N_e = N_0 / (1 + kt) \quad \text{ec. (5)}$$

en la que t es el tiempo de residencia, $t = V/Q_0$.

La ley de Chick es una representación idealizada de la situación. Normalmente las condiciones ideales no existen debido a variaciones en la resistencia de las células, disminución en la concentración de cloro, etc. Las velocidades de eliminación algunas veces aumentan o disminuyen con el tiempo. Suponiendo la validez de la ley de Chick, el cambio de la velocidad de eliminación con el tiempo, tal como se indica por la segunda derivada de la ecuación (3), esto es, $d^2 \ln N/dt^2$ es cero. En consecuencia, puede escribirse una forma modificada de la ecuación (2) conteniendo una constante adicional m a determinar a partir de los datos experimentales:

$$N / N_0 = e^{-kt^m} \quad \text{ec. (6)}$$

Si m es menor que 1, la velocidad de disminución disminuye con el tiempo, y si m es mayor que 1, aumenta esto puede deducirse fácilmente de la ecuación anterior, mostrando que la segunda derivada es:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{d \ln N}{dt} \right) = \frac{d^2 \ln N}{dt^2} = -m(m-1)kt^{m-2}$$

La constante de la ecuación (3) se determina mediante la representación de $\log[-\ln(N/N_0)]$ en función del logaritmo del tiempo de contacto t . La relación lineal es:

$$\log[-\ln(N/N_0)] = \log k + m \log t$$

El efecto de la concentración de cloro viene definido por la relación.

$$C^n t_p = \text{constante} = K$$

en donde C es la concentración de cloro (mg/L), t_p el tiempo requerido para un porcentaje dado de eliminación, y n es una constante a evaluar a partir de datos experimentales. La constante mencionada se determina mediante la representación en papel logarítmico de la concentración de cloro frente al tiempo para un porcentaje de eliminación dado. La forma lineal de la ecuación de la constante es

$$\log C = -(1/n) \log t_p + (1/n) \log K$$

La pendiente de esta línea corresponde al valor de $-(1/n)$.

II.2 CLORO LIBRE DISPONIBLE

Se obtienen las siguientes ecuaciones de equilibrio cuando se disuelve cloro elemental en agua:

Hidrólisis:



$$\frac{(\text{HOCl})(\text{H}^+)(\text{Cl}^-)}{(\text{Cl}_2)} = K_h = 4.5 \times 10^{-4} \text{ (moles/L)}^2 \text{ a } 25^\circ\text{C} \quad (2)$$

Ionización:



$$\frac{(\text{H}^+)(\text{OCl}^-)}{(\text{HOCl})} = K_i \text{ o } \frac{(\text{OCl}^-)}{(\text{HOCl})} = K_i / (\text{H}^+) \quad (4)$$

Las soluciones de hipocloritos, como el cloruro de cal y el hipoclorito de calcio, establecen el mismo equilibrio de ionización en agua. Tomando como ejemplo al hipoclorito de calcio, las reacciones que conducen al equilibrio son:



Y $\text{H}^+ + \text{OCl}^- = \text{HOCl}$ como en la ec. (3)

La constante de hidrólisis K_h es de tal magnitud, que no permanece en solución una concentración mensurable de Cl_2 cuando el pH del agua clorada es mayor de 3.0 aproximadamente, y la concentración total de cloruros es menor de alrededor de 1,000 mg por L.

A las temperaturas ordinarias del agua, la hidrólisis del cloro llega a ser esencialmente completa al cabo de algunos segundos, y la ionización del ácido hipocloroso producido es, en esencia, una reacción reversible instantánea. La constante de ionización, K_i , varía en magnitud con la temperatura, como se muestra en el cuadro 2.2. En la fig. 2.2, se muestra el porcentaje de distribución de HOCl y OCl⁻ a varios valores de pH. Este se calcula a partir de la Ec. (3) y el cuadro 2.2 como:

$$\frac{(\text{HOCl})}{(\text{HOCl}) + (\text{OCl}^-)} = \frac{1}{1 + (\text{OCl}^-)/(\text{HOCl})} = \frac{1}{1 + k_i / (\text{H}^+)} \quad (6)$$

Por ejemplo, a 20°C y pH de 8, el porcentaje de distribución del HOCl es $100 \times (1 + 2.5 \times 10^{-8} / 10^{-8})^{-1} = 100 / 3.5 = 29\%$. En esta forma se identifican las especies de cloro que constituyen el cloro libre disponible.

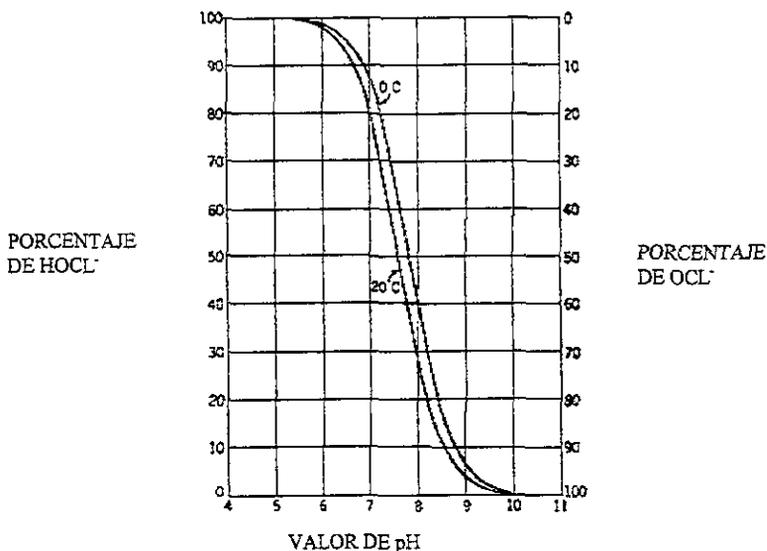


FIGURA 2.2. Distribución del ácido hipocloroso y del ion hipoclorito en agua, a diferentes valores de pH y temperaturas.

CUADRO 2.2 Valores de la constante de ionización del ácido hipocloroso a diferentes temperaturas.

Temperatura, °C	0	5	10	15	20	25
$K_i \times 10^8$, moles/L	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7

En la fig. 2.3 se ilustra la eficiencia colicida observada (concentración de cloro acuoso, o libre disponible, requerida para matar 99% de *Esch. coli* en 30 min, de 2 a 5°C) el hecho de que las figs. 2.3 y 2.2 sean imágenes de espejo, sugiere que existe una mayor eficiencia exterminante para el HOCl que para el OCl⁻ en una relación aproximada de 80:1 para las condiciones de la prueba. Si las eficiencias de las dos especies de cloro son aditivas, la cantidad total de cloro R, requerida para producir un porcentaje dado de exterminación en un tiempo especificado a varios valores de pH se convierte en $R = (HOCl) + (OCl) = (HOCl) [1 + (OCl) / (HOCl)]$. Por consiguiente, por la Ec. (4), $R = HOCl [1 + K_i / (H^+)]$. Si c es la concentración letal de HOCl,

$$c = [HOCL] + r[OCL^-] = \frac{R}{1 + K_1/(H^+)} + r \frac{k_1}{(H^+)} \frac{R}{1 + K_1/(H^+)}$$

y

$$R = c \frac{1 + K_1/(H^+)}{1 + rK_1/(H^+)} \quad (7)$$

Aquí, los paréntesis rectangulares representan la concentración requerida de cloro y r es la eficiencia proporcional de los iones OCl^- , en relación con la del $HOCl$.

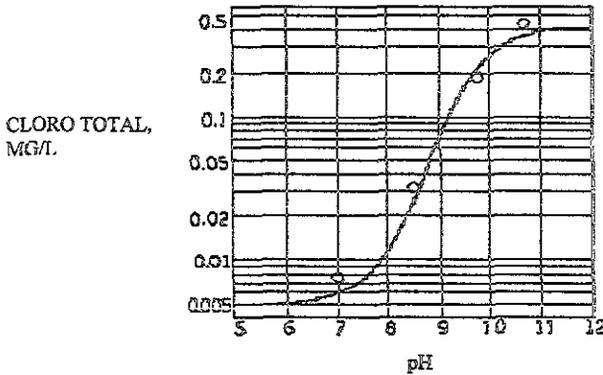
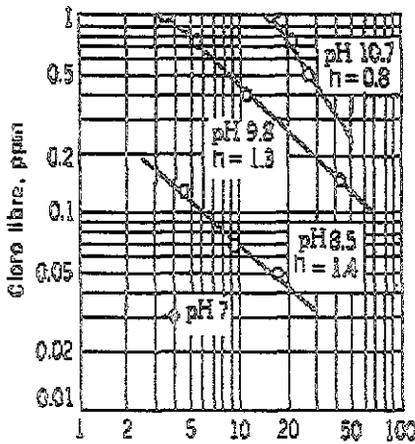
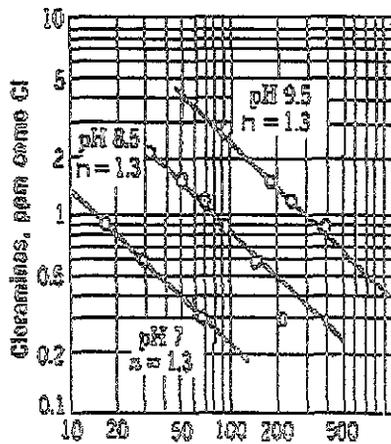


FIGURA 2.3. Concentración requerida de cloro libre disponible, extinción de 99% Esch. coli en 30 min, de 2 a 5°C.



Tiempo de contacto para muerte del 99%, minutos

(a)



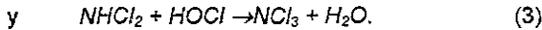
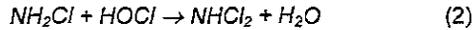
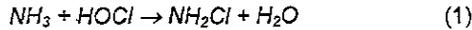
Tiempo de contacto para muerte del 50%, minutos

(b)

FIGURA 2.4. Relaciones tiempo - concentración en la desinfección. a) Concentración requerida del cloro libre disponible para extinción del 90% de *Esch. coli*, de 2 a 5°C; b) concentración requerida de cloro combinado disponible para un 50% de muertes de *Esch. coli*, de 2 a 5°C.

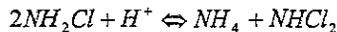
II.2.1 CLORO LIBRE DISPONIBLE COMBINADO

La reacción más importante del cloro con los compuestos de nitrógeno, es la reacción del ácido hipocloroso con el amoníaco. Este es un proceso en etapas, para el cual las reacciones sucesivas son las siguientes:



Cuando el pH es superior a 6 y la relación molar de cloro (o hipoclorito) a amoníaco (o iones amonio) no es mayor de 1.0, predomina la formación de monocloramina. La velocidad de la primera etapa depende grandemente del pH de la solución. Esto se describe de la siguiente manera, como $-dc/dt = Kc_{Cl} c_{NH_3}$, en donde dc/dt es la velocidad instantánea de reacción, en moles de HOCl o de NH_3 , y c_{Cl} y c_{NH_3} son, respectivamente, las concentraciones de cloro y amoníaco en moles por litro. La velocidad es máxima a un pH de 8.3 y decrece rápidamente en ambas direcciones. Su magnitud medida por minuto es de 8.9×10^{-3} a un pH de 4.6, 5.8×10^{-1} a un pH de 6.5, y 7.4×10^{-3} a un pH de 12.1. A un pH de 8.3 y 25°C, 0.8 mg por L de cloro, y 0.32 mg por L de nitrógeno amoniacal, la reacción se encuentra completa en un 99% aproximadamente en 1 min; el tiempo correspondiente a un pH de 5 es de 210 min; a un pH de 11, es de 50 min. La velocidad de reacción varía también grandemente con la temperatura. De acuerdo con el pH, Q_{10} se encuentra entre 2.0 y 2.5.

Inicialmente, se supuso que la distribución de las cloraminas sigue la ecuación de equilibrio:



de donde

$$\frac{(NH_4^+)(NHCl_2)}{(H^+)(NH_2Cl)^2} = K_e$$

La magnitud de la constante de equilibrio es 6.7×10^5 a temperaturas próximas a 25°C , y las ecuaciones predicen la formación del 84% de dicloramina a un pH de 5 y de 94% de monocloramina a un pH de 9 cuando la relación cloro-amoniaco es equimolar, o sea de 5:1 sobre una base de pesos. Sin embargo, Palin y Morris, han demostrado que, en realidad, la distribución se encuentra gobernada por las velocidades relativas de formación de la monocloramina y la dicloramina. Estas cambian con las concentraciones relativas de cloro y amoniaco, así como con el pH y la temperatura. La fig. 2.5 muestra un trazo de la distribución a concentraciones equimolares de cloro y amoniaco; por consiguiente, a una relación en peso de cloro (Cl_2) a amonio (N) de 5:1.

Una comparación entre la figs. 2.4 a y b, muestra que el cloro disponible combinado es un agente colicida mucho menos eficiente que el cloro libre disponible. El coeficiente de dilución $n=1.3$ sugiere que la concentración desinfectante es algo más importante que el tiempo de contacto, y las magnitudes de $E=12,000$ a $20,000$ registradas en el cuadro 2.3 se encuentra dentro de la gama de las reacciones químicas.

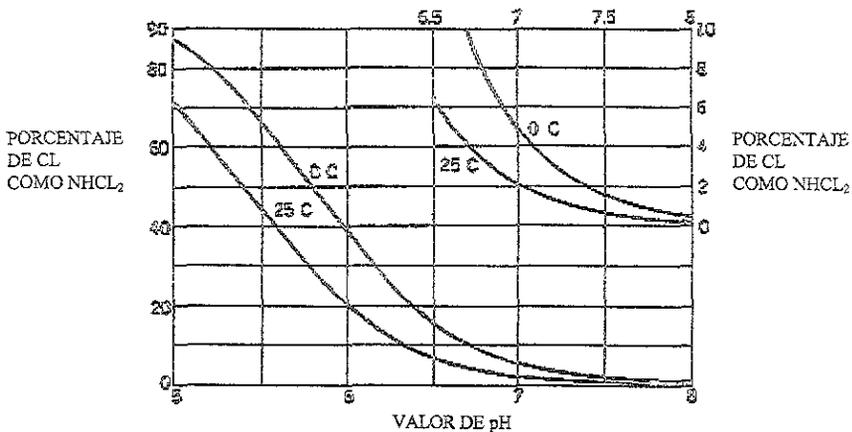


FIGURA 2.5. Distribución de las cloraminas a concentraciones equimolares de cloro y amoniaco.

II.3 CLORACIÓN A PUNTO DE QUIEBRE O PUNTO DE INFLEXIÓN

El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoniaco junto con que sea además un fuerte agente oxidante, complica el mantenimiento de una cantidad residual

(combinado o libre) para la desinfección de las aguas residuales. Los fenómenos que resultan al añadir cloro a un agua residual que contenga amoníaco pueden explicarse consultando la fig. 2.6

Cuando se añade cloro, las sustancias fácilmente oxidables tales como Fe^{++} , Mn^{++} , H_2S y la materia orgánica reacciona con el cloro reduciendo la mayor parte de él a ion de cloruro (punto A en fig. 2.6). Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continuará reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas entre los puntos A y B. En el caso de relaciones molares de cloro a amoníaco menores que 1, se formarán monocloramina y dicloramina.

La distribución de estas dos formas viene dictada por sus velocidades de formación, que son dependientes del pH y de la temperatura. Entre el punto B y el *punto de quiebre* algunas de las cloraminas se convierten en tricloruro de nitrógeno, mientras que las cloraminas restantes se oxidarán a óxido nítrico y nitrógeno (N_2), reduciéndose el cloro, todas las cloraminas se oxidarán en el *punto de quiebre*. Teóricamente la relación ponderada entre el cloro y el nitrógeno amoniacal en el *punto de quiebre* es 7.6:1.

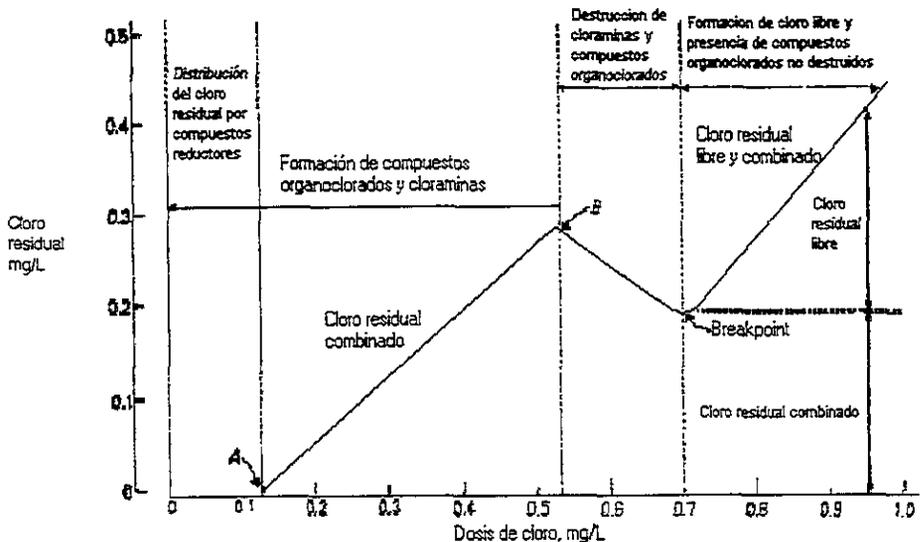


FIGURA 2.6. Diagrama esquemático, idealizado, del punto de inflexión.

La adición de cloro más allá de *punto de quiebre* dará como resultado un aumento directamente proporcional del cloro libre disponible (hipoclorito sin reaccionar). La razón principal para añadir cloro suficiente hasta obtener cloro residual libre es, que la desinfección se logrará con toda seguridad. A veces, debido a la formación del tricloruro de nitrógeno y sus compuestos afines, se han presentado graves problemas de olor durante las operaciones de cloración al *punto de quiebre*. La presencia de compuestos adicionales durante la cloración da lugar a su reacción con la alcalinidad del agua residual y, en casi todos los casos, la disminución del pH será pequeña.

La presencia de compuestos adicionales que reaccionen con el cloro puede alterar mucho la forma de la curva del *punto de quiebre* como se ve en la fig. 2.7b. La cantidad de cloro que debe añadirse para alcanzar un nivel deseado de cloro residual se llama demanda de cloro.

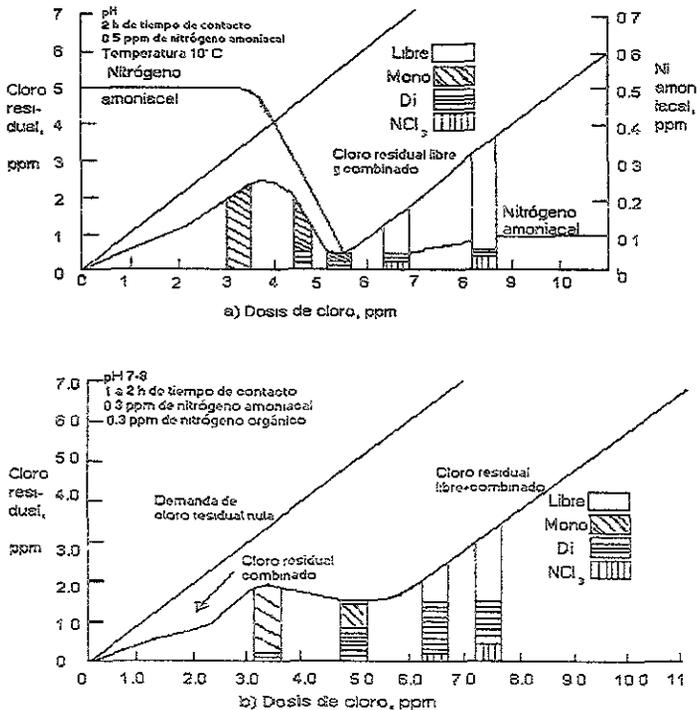


FIGURA 2.7. Curvas de cloro residual en relación con la dosificación de cloro para el agua residual, a) Para agua residual que contiene nitrógeno en forma de amoníaco; b) para agua residual que contiene nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.

Generación de ácido. En la práctica, el ácido clorhídrico formado durante la cloración reaccionará con la alcalinidad del agua residual y en la mayoría de los casos la disminución del pH será ligera.

Aumento de los sólidos disueltos. Además de la formación de ácido clorhídrico, los productos químicos añadidos para lograr la reacción al *punto de quiebre* contribuirán asimismo al incremento de los sólidos disueltos totales en el agua residual. En aquellos casos en que el nivel de los sólidos disueltos totales pueda ser crítico con respecto a las aplicaciones para reutilización, el incremento producido por la cloración al *punto de quiebre* debe ser siempre comprobado.

II.3.1 DECLORACIÓN

Cuando se han agregado cantidades considerables de cloro al agua, por ejemplo para asegurar la desinfección antes de que el agua sea consumida, o para destruir olores y sabores, los residuales indeseables se pueden remover por decloración. El uso intensivo del cloro en esta forma, sin la reacción a punto de quiebre, se denomina sobrecloración y 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.

Los agentes reductores incluyen dióxido de azufre SO_2 ; bisulfito de sodio, NaHSO_3 y sulfito de sodio, Na_2SO_3 . En la práctica, se utiliza generalmente el bisulfito; es más estable y barato que el sulfito. Las muestras de agua colectadas para análisis bacteriológico generalmente, se decloran añadiéndoles tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), ya sea en forma de solución o como cristales. El carbón activado granular adsorbe cloro y se oxida mediante éste a dióxido de carbono. En la práctica, el contacto con el carbón activado pulverizado es demasiado corto para dar esto como resultado.

El cloro ácido hipocloroso, dióxido de cloro y tricloruro de nitrógeno son los suficientemente volátiles y se les remueve por aeración. Algunas especies del cloro no lo son.

II.4 TECNOLOGÍA QUÍMICA DEL CLORO

Para que se le pueda almacenar y embarcar en cilindros o tanques de acero, el cloro gaseoso (Cl_2) se puede licuar, a temperatura ambiente, a presiones de 5 a 10 atm. Una libra (454 grs) de líquido produce 5 pies cúbicos (141.60 L) de gas. Bajo las condiciones de uso, la extracción de gas disminuye la temperatura del fluido almacenado. Para mantener constante la velocidad de extracción, la pérdida del calor se debe compensar desde el exterior. Es peligrosa la aplicación directa de calor a temperaturas superiores a 125°F (52°C). Debido a que la relicuefacción del cloro en el equipo de medición y dosificación produce resultados erróneos en el sistema, los recipientes de cloro y las líneas de gas se deben mantener más fríos que el equipo de suministro.

La solubilidad del cloro gaseoso en agua es aproximadamente de 7,300 mg por L a 68°F (20.0°C) y 1 atm. Por debajo de 49.2°F (9°C) el cloro, se combinan con agua para formar hidrato de cloro ($\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ generalmente), denominado hielo de cloro. El hidrato puede obstruir al equipo de alimentación. Por lo tanto, el agua de alimentación que entra en contacto con el gas se debe mantener por encima de 49.2°F (9°C).

El cloro gaseoso es un irritante altamente tóxico y se debe manejar con gran cuidado y bajo salvaguardas adecuadas. Su olor incipiente en aire es alrededor de 3.5 ppm. Las concentraciones de 30 ppm, o más, producen y las exposiciones durante 30 min, a concentraciones de 40 a 60 ppm son peligrosas. A 1,000 ppm el gas es extremadamente fatal.

Para diversos usos del cloro en cantidades considerables, por ejemplo en plantas municipales de agua y aguas residuales, el cloro líquido constituye la forma más económica. Sin embargo, el gas es tan peligroso que su transporte a través de comunidades populosas y su empleo en las plantas situadas dentro de áreas habitadas debe recibir estudio y resolución cuidadosa.

Para instalaciones pequeñas y usos de emergencia o especializados, pueden ser satisfactorias algunas especies de cloro diferentes al cloro líquido, entre ellas los hipocloritos de calcio, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y de sodio (NaOCl); la cal clorada CaClOCl ; y complejos

orgánicas como la Halazona, $\text{NaOOC-C}_6\text{H}_4\text{-SO}_2\text{NCl}_2$. La combinación intencional del cloro con el amoníaco y el desprendimiento de bióxido de cloro, ClO_2 , del clorito de sodio, NaClO_2 , crea otros desinfectantes o desodorantes útiles de cloro. La cal clorada (una combinación inestable de cloro con cal apagada) el hipoclorito de calcio, el clorito de sodio, y los compuestos orgánicos comunes de cloro se manejan en el mercado como sólidos; el hipoclorito de sodio como un líquido.

De las sustancias empleadas en combinación con el cloro, o como *compuestos anticloro* (sustancias reductoras del cloro), el amoníaco y el bióxido de azufre son gases. Pueden ser licuados, almacenados, manejados y suministrados como se hace con el cloro. El amoníaco se encuentra en disponibilidad también como hidróxido de amonio (agua amoníaca) y como sulfato de amonio. El bisulfito de sodio (NaHSO_3) que es sólido, pueden reemplazar al SO_2 .

La fuerza de los compuestos de cloro, es decir, su capacidad oxidante, se expresa generalmente como *cloro disponible*. Esto equivale a reportar la alcalinidad como CaCO_3 . El *cloro equivalente* sería una designación más precisa. El porcentaje de *cloro disponible* está basado en: 1) las moles de cloro equivalente, o sea el número de moles de cloro que tendrían una capacidad oxidante equivalente a 1 mol de compuestos, y 2) la proporción, en peso, del compuesto puro presente en el producto comercial. Por ejemplo, la cal clorada contiene, como constituyente esencial, cerca de 62.5% de oxícloruro de calcio, CaClOCl (de peso molecular 127). Debido a que cada mol de CaClOCl equivale a 1 mol de Cl_2 (peso molecular 71), el peso hipotético de cloro es $62.5 \times 71/127 = 35\%$ del total, y el cloro disponible es también 35%. La capacidad oxidante de los compuestos no derivados del cloro se establece algunas veces de acuerdo con el cloro disponible, pero no se recomienda esta práctica, pues resulta ambigua para oxidantes como ClO_2 y KMnO_4 , que pueden sufrir más de una reacción de oxidación.

II.5 CLORACIÓN DE AGUAS

El cloro líquido, el amoníaco y el bióxido de azufre se agregan generalmente al agua en cantidades controladas a través de medidores de flujo, de orificio o de

dosificadores, denominados respectivamente, clorinadores (o cloradores), amoníadores y sulfanadores.

Para dosificaciones dadas, se mantienen constantes las caídas de presión a través del orificio. En los dosificadores operados bajo presión, esto se efectúa mediante una válvula reductora y compensadora de presión que mantiene constante la presión del influente, independientemente de los cambios de presión en el recipiente del que se extrae el gas. En los dosificadores operados a vacío, la caída de presión a través del orificio se regula mediante un vacío controlado en los lados de entrada y salida del orificio. El propósito de la alimentación a vacío consiste en disminuir la fuga de gas. Algunos dispositivos simplificados de presión regulan el desplazamiento volumétrico del gas en vez de su velocidad de flujo.

El cloro gaseoso se puede alimentar directamente al seno del agua a través de difusores. Sin embargo, debido a que puede escapar algo del gas, el cloro gaseoso se disuelve generalmente en un pequeño flujo de agua que se hace pasar a través del dispositivo regulador de flujo de gas para transportar el gas disuelto al punto de aplicación. En la fig. 2.8 se muestra un clorador del tipo de vacío, para alimentar solución de cloro. Las líneas principales, pozos tanques y almacenamientos de mampostería de agua que se han construido o reparado recientemente se pueden clorar con la ayuda de cloradores portátiles.

Las concentraciones iniciales de cloro se hacen suficientemente fuertes (alrededor de 50 mg por L) para satisfacer la demanda de cloro de los contaminantes acumulados durante la construcción. La cloración se repite hasta que se alcanza un residual de aproximadamente 1 mg por L. Después de esto, la estructura se lava abundantemente antes de ponerla en servicio.

Las soluciones de compuestos cloradores, amoníadores y sulfanadores se agregan generalmente mediante dosificadores de reactivos químicos (fig. 2.9) Para la cloración de tuberías nuevas, se pueden agregar cantidades efectivas de hipoclorito de calcio estabilizado en puntos situados a distancias adecuadas en la línea durante la construcción. Aun cuando el cloro se pueda producir en las plantas de tratamiento

mediante la electrólisis de salmuera en celdas electrofíticas, esto constituye en raras ocasiones una ventaja económica.

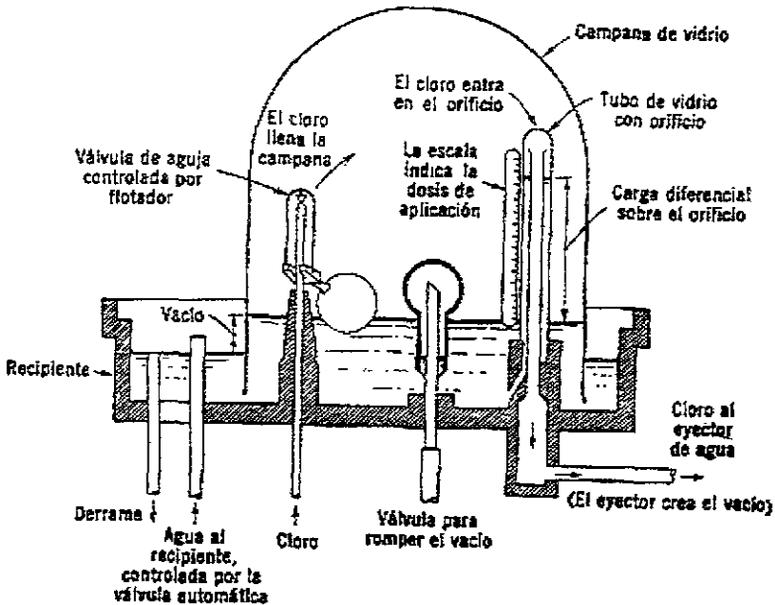


FIGURA 2.8. Características de control de un clorador a vacío.

II.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EFICACIA DEL CLORO

Los factores más importantes que afectan la eficacia de desinfección mediante el cloro, en la medida que permite su conocimiento actual, son los siguientes: 1) la eficacia germicida del cloro, 2) la eficacia germicida de los diversos compuestos del cloro, 3) la importancia de la mezcla inicial, 4) la reacción al *punto de quiebre*, 5) el tiempo de contacto, 6) las características del agua residual y 7) las características de los microorganismos. A fin de elaborar un marco en el cual encajar estos factores, es conveniente considerar en primer lugar cómo se evalúa actualmente la eficacia del proceso de cloración y cómo se analizan los resultados.

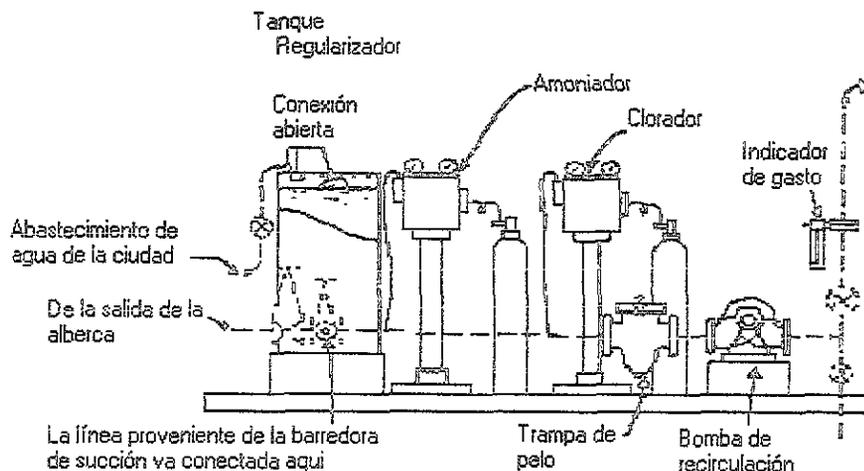


FIGURA 2.9. Unidad de cloración instalada en el sistema de recirculación de una piscina.

II.6.1 EFICACIA GERMICIDA DEL CLORO

Cuando se usa cloro para la desinfección del agua residual, los parámetros principales que pueden medirse, a parte de las variables ambientales, tales como el pH y la temperatura son el número de organismos y el cloro residual que queda tras un período específico de tiempo. El grupo coliforme de organismos puede determinarse utilizando el procedimiento del número más probable (NMP). Los organismos que quedan pueden determinarse también por el procedimiento del recuento con placas, utilizando una mezcla de agar como medio de cultivo.

Las placas deben incubarse a 37°C, porque esta temperatura conduce al óptimo crecimiento de *E. coli*, y las colonias deben contabilizarse tras un período de incubación de 24 horas.

El cloro residual libre y combinado debe medirse utilizando el método amperométrico, el cual se ha demostrado que es el más fiable de los actualmente disponibles. Así mismo, dado que es utilizado en todos los analizadores comerciales del

cloro residual, la adopción de este método permitirá comparar directamente los resultados de estudios independientes.

Numerosos ensayos han demostrado que cuando todos los parámetros físicos que controlan el proceso de cloración se mantienen constantes, la eficacia germicida de la desinfección, medida a partir de la supervivencia bacteriana, depende principalmente del cloro residual bactericida presente R y del tiempo de contacto t . Se ha encontrado también que aumentando cualquiera de las dos variables R o t y disminuyendo simultáneamente la otra, es posible llevar a cabo aproximadamente el mismo grado de desinfección. Por consiguiente, la eficacia de la desinfección puede expresarse en función del producto ($R \times t$).

Utilizando un reactor de alimentación discontinua cuyo contenido se hallaba bien agitado, ciertos investigadores encontraron que la reducción de organismos coliformes en un efluente clorado de tratamiento primario puede definirse por medio de la siguiente relación.

$$N_t/N_0 = (1 + 0.23C_t t)^{-3}$$

donde N_t = número de organismos coliformes en el tiempo t
 N_0 = número de organismos coliformes en el tiempo t_0
 C_t = cloro residual total medido amperométricamente en el tiempo t , mg/L
 t = tiempo de residencia, min.

Los datos a partir de los cuales se desarrolló esta relación se muestran en la fig. 2.10.

II.6.2 EFICACIA GERMICIDA DE LOS DIVERSOS COMPUESTOS DEL CLORO

En la fig. 2.11 se presenta una comparación de la eficacia germicida del ácido hipocloroso (HOCl), del ion hipoclorito (OCl^-), y de la monocloramina (NH_2Cl). Para un tiempo de contacto dado o para un cloro residual determinado, la eficacia germicida del ácido hipocloroso, en términos tanto de tiempo como de cloro residual, es substancialmente mayor que los del ion hipoclorito o de la monocloramina. Debe

hacerse notar, sin embargo, que si el tiempo de contacto es adecuado, la monocloramina es un desinfectante casi tan efectivo como el cloro.

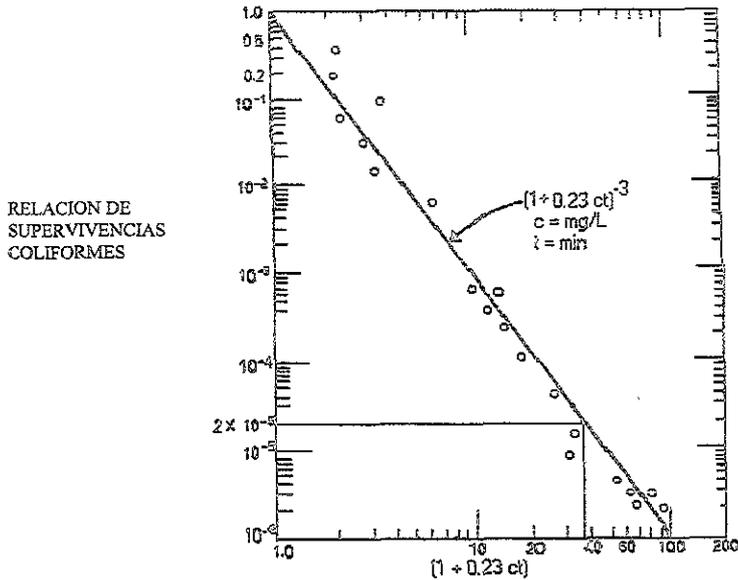


FIGURA 2.10. Supervivencia de coliformes en un reactor de alimentación discontinua en función del cloro residual amperométricamente y del tiempo de contacto (intervalo de temperatura: 15-8°C).

En relación con la fig. 2.11 es evidente que el ácido hipocloroso constituye el medio más eficaz de llevar a cabo la desinfección. Por esta razón la formación de ácido hipocloroso posteriormente al *punto de quiebre* mediante mezcla adecuada es más efectiva para lograr la cloración de agua residual.

Si no es posible añadir suficiente cloro para lograr la reacción al *punto de quiebre*, debe tenerse mucho cuidado en asegurar el mantenimiento del tiempo de contacto necesario. Dado el equilibrio entre el ácido hipocloroso y el ion hipoclorito, el mantenimiento del pH es también importante si se quiere conseguir una desinfección efectiva.

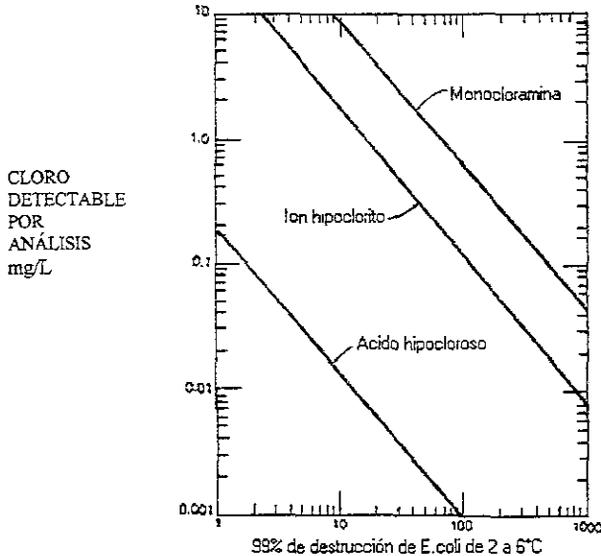


FIGURA 2.11. Comparación de la eficacia germicida del ácido hipocloroso, ion hipoclorito y monoclóraminas para el 99% de destrucción de *E. coli*, entre 2 y 6°C

II.6.3 MEZCLA INICIAL

Tan solo recientemente se ha demostrado de forma concluyente la importancia de la mezcla inicial en el proceso de desinfección. Se ha comprobado que la aplicación de cloro en un régimen altamente turbulento ($N_R=10^4$) condujo a mortandades de dos órdenes de magnitud superiores a las conseguidas con la adición de cloro separadamente en un reactor de mezcla completa, bajo condiciones similares.

II.6.4 REACCIÓN A PUNTO DE QUIEBRE

Los aspectos básicos de la reacción al punto de quiebre y sus efectos sobre el proceso de desinfección han sido tratados previamente. Este punto se centra en verificar si los compuestos de nitrógeno están presentes en el agua residual, una parte del cloro añadido reaccionará con ellos, y cuando se inyecte, se encontrará en forma de monoclóramina o dicloramina. Esto puede constituir un problema en pequeñas

instalaciones o donde las condiciones de la solución clorada desde el clorómetro hasta el punto de inyección sean bastantes largas. Se ha demostrado, sin embargo, que si se cuentan con una adecuada mezcla inicial la mortandad bacteriana es la misma tanto si se usa efluente tratado o sin tratar como agua de inyección.

Otro aspecto es si los compuestos del nitrógeno son más importantes para conseguir una desinfección efectiva que la forma en que se inyecta el cloro. De nuevo, debe recordarse que el ácido hipocloroso (HOCl) y la monocloramina (NH_2Cl) son igualmente efectivos como agentes desinfectantes; sólo el tiempo de contacto necesario es diferente (ver fig. 2.11).

II.6.5 TIEMPO DE CONTACTO

Debido a la reacción del cloro con los compuestos del nitrógeno que se hallan presentes en el agua residual tratada y no tratada, y dado que la cloración más allá del *punto de quiebre* para obtener el ácido hipocloroso libre no es económicamente factible en muchas situaciones, no puede dejar de recalcar la importancia fundamental del tiempo de contacto en la desinfección del agua residual.

El tiempo de contacto está descrito por medio de las siguientes relaciones.

$$\ln N_t/N_0 = -Kt \quad (1)$$

$$\ln N_t/N_0 = -Kt^m \quad (2)$$

$$N_t/N_0 = Kt^m \quad (3)$$

De estas relaciones la ecuación (3) parece ser la que mejor se adapta a los datos obtenidos en la cloración del agua residual. Probablemente la razón de que sea dicha ecuación, en lugar de la (1), es que, en la mayoría de los casos, el cloro residual se debe a las cloraminas.

A causa de la importancia del tiempo de contacto, puede usarse tanto el reactor de alimentación como el de flujo en pistón para lograr una desinfección efectiva, y puesto que un reactor discontinuo es utilizable en la práctica de la cloración, en la mayoría de las plantas se emplean los reactores de flujo en pistón.

II.6.6 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

Se ha observado que a menudo en plantas de tratamiento de diseño similar con exactamente las mismas características de efluente medidas en términos de DBO, DQO, y nitrógeno, la efectividad del proceso de cloración varía substancialmente de una planta a otra. A fin de investigar las razones de este fenómeno observado, y de evaluar los efectos de los compuestos presentes sobre el proceso de cloración, Sung estudio las características de los compuestos que se hallan en el agua residual tratada y no tratada. En las conclusiones más importantes deducidas del estudio de Sung se encuentran las siguientes:

1. En presencia de compuestos orgánicos que interfieren el proceso, el cloro residual total no puede utilizarse como medida fiable para la evaluación de la eficacia bactericida del cloro.
2. El grado de interferencia de los compuestos estudiados depende de sus grupos funcionales y de su estructura química.
3. Los compuestos saturados y los carbohidratos ejercen una pequeña o nula demanda de cloro y no parecen interferir en el proceso de cloración.
4. Los compuestos orgánicos con enlaces no saturados pueden ejercer una demanda inmediata de cloro, dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos los compuestos resultantes pueden aparecer en los análisis como cloro residual y sin embargo poseer poco o nulo potencial de desinfección.
5. Los compuestos con anillos policíclicos que contienen grupos de hidróxido y compuestos que contienen grupos de azufre reaccionan fácilmente con el cloro para formar compuestos que tienen pequeño o nulo potencial bactericida, pero que aparece en los análisis como el cloro residual.
6. Para lograr reducciones elevadas del contenido de bacterianos en presencia de compuestos orgánicos que interfieren el proceso, se requerirán dosis adicionales de cloro y tiempos de contactos mayores.

Aunque estas conclusiones deben considerarse como provisionales en tanto que no se lleven a cabo trabajos complementarios que permitan confirmar las observaciones existentes, sin embargo proporcionan una idea del proceso de cloración.

A partir de estos resultados, es fácil ver por qué la eficacia de la cloración en plantas con las mismas características del efluente puede ser muy diferente. Evidentemente no es el valor de la DBO o de la DQO lo más significativo, sino que la naturaleza de los compuestos que dan lugar a tales valores medidos. Por consiguiente, la naturaleza del proceso de tratamiento utilizado en cada planta tendrá asimismo efecto sobre el proceso de cloración.

II.6.7 CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROORGANISMOS

Otra variable importante en el proceso de cloración es la edad de los microorganismos. Por ejemplo, en el estudio efectuado por Sung descrito anteriormente, se encontró que había una diferencia apreciable en la resistencia al cloro de los cultivos bacterianos. Para un cultivo bacteriano joven (un día o menos), con una dosificación de cloro de 2 mg/L, solamente se necesitó un minuto para alcanzar un bajo número de bacterias. Cuando el cultivo bacteriano tenía 10 días o más se necesitaron aproximadamente 30 minutos para lograr una reducción comparable para la misma dosificación de cloro aplicada. Es probable que la causa del fenómeno observado sea la resistencia ofrecida por la envoltura de polisacárido, que desarrolla el microorganismo a medida que envejece. En el proceso de lodos activados el tiempo medio de retención celular en el sistema, afectará, por consiguiente el comportamiento del proceso de cloración.

A la vista del renovado interés existente en la reutilización del agua residual, la eficacia de eliminación de los virus en el proceso de cloración es de gran importancia. Desafortunadamente en la actualidad no se dispone todavía de datos definitivos sobre este tema. En la fig. 2.12 se presentan algunos datos representativos sobre la efectividad del cloro en la destrucción de los *E. coli* y de tres virus entéricos. A partir de la evidencia disponible sobre la efectividad de destrucción de virus del proceso de cloración, parece que si se quieren destruir los virus, será preciso clorar más allá del punto de quiebre para obtener cloro libre. Cuando se utilice la cloración al punto de

quiebre, será necesario efectuar una decloración del agua residual tratada antes de su reutilización a fin de reducir cualquier toxicidad residual que pueda quedar tras la cloración.

II.7 VARIABLES CONTROLABLES EN DESINFECCIÓN DE AGUAS

Como se mencionó anteriormente, el grado de mezcla o agitación, la longitud de la retención y la intensidad o concentración del desinfectante son las principales variables controlables en desinfección de aguas. Aun cuando generalmente no es práctico modificar la calidad o temperatura del agua con el propósito específico de mejorar la desinfección, si es conveniente elegir un proceso de desinfección que sea

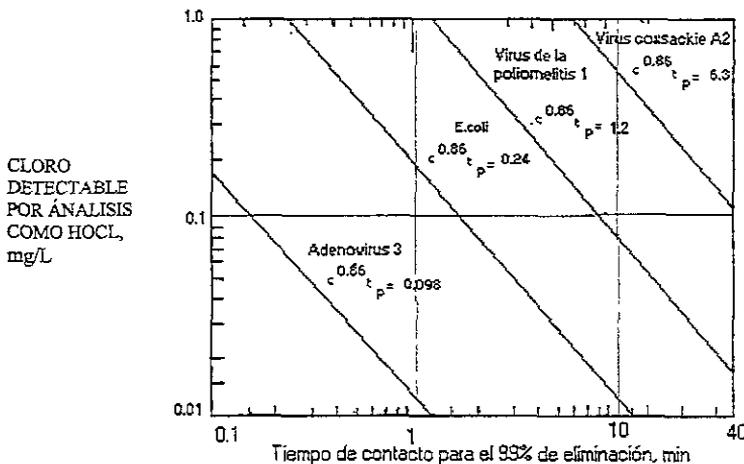


FIGURA 2.12. Concentración de cloro como HOCL₂ necesario para el 99% de eliminación de *E. coli* y tres virus intestinales de 0 a 5 °C.

óptimo para el agua sujeta a tratamiento y también es conveniente aprovechar las ventajas interiores de la planta que optimicen la eficiencia desinfectante. Por ejemplo:

1. El tratamiento bifurcado con desinfectantes químicos antes y después de la filtración con objeto de asegurar residuales perdurables en el agua producida.

2. La adición de cloro con bastante anticipación a la estabilización del agua mediante cal, con objeto de aprovechar un valor bajo del pH.
3. Posponer la cloración hasta que la recarbonatación disminuya el pH en plantas de suavización con cal-carbonato.
4. Clorar las aguas residuales cloradas frescas, de preferencia a las estancadas o sépticas.
5. La preformación de cloraminas para la desinfección de aguas residuales urbanas y de otro tipo que poseen una demanda extensa de cloro pero reducida de cloraminas.
6. La cloración de derrames de tormentas, de los derrames principales de los sistemas separados de aguas pluviales y de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en forma tal que se aprovechen los tiempos de almacenamiento disponibles.

La concentración de desinfectantes es un asunto de la dosificación requerida, es decir, de la selección del equipo de dosificación con capacidad suficiente no sólo para cubrir los requerimientos normales, sino también las demandas poco comunes que se puedan necesitar cuando los sistemas de aguas y aguas residuales se colocan bajo sobrecarga. Se han producido demandas de cloro suficientemente grandes para exceder la capacidad del equipo disponible; 1) por avenidas súbitas que pasan rápidamente a través de los depósitos de almacenamiento porque despiazan el agua de los depósitos pequeños o porque atraviesan por la superficie o el fondo aún de los depósitos grandes cuando las aguas de avenidas son respectivamente más calientes o más frías que las aguas almacenadas; 2) por derrame de los pantanos durante las crecientes de la primavera; 3) por la desintegración de acumulaciones de hielo y la descarga de los estanques de agua contaminada que se acumula detrás de ellos, y 4) por cambios en las corrientes de ríos y lagos que transportan efluentes de aguas residuales a las tomas de agua con rapidez y en alta concentración.

Para asegurar un tiempo suficiente de contacto se deberá dar suficiente capacidad a las unidades de almacenamiento o de contacto, a menos que sea posible

aprovechar los tiempos de retención disponibles en otros elementos de las plantas de tratamiento o en los sistemas de transmisión y distribución. El estancamiento y la reducción asociada en los circuitos cortos no son necesariamente condiciones óptimas. En *tratamiento continuo*, la *agitación lenta o alimentación controlada de potencia* puede ser más cierta y efectiva.

II.8 OTROS USOS DEL CLORO

El cloro es útil desinfectante para las aguas de balneario, zonas ostrícolas, así como también para agua potables y residuales. La fuerte carga de bañistas en las piscinas y trampolines, la necesidad de respirar a través de la boca durante la natación rápida, y la acción de pistón ejercida por el aire y el agua sobre los conductos y senos nasales durante los clavados, se combinan para desprender grandes cantidades de mucosidad y vastos números de organismos nasofaríngeos a las albercas. Para reducir los contagios a un nivel mínimo debe haber desinfectantes efectivos en todas las partes de las piscinas, en concentración suficiente para asegurar una desinfección rápida de las aguas sin que éstas se vuelvan irritantes.

Para desinfectar químicamente a los moluscos, se transfieren de sus bancos de crecimiento a tanques en los que se agregan suficiente cloro para desinfectar el agua. Los moluscos *bebén* el agua desinfectada siempre que la concentración de productos químicos disminuya a niveles tolerables. Mediante exposiciones sucesivas de esta clase los moluscos se liberan a sí mismos de los organismos, antes de ser extraídos de los bancos de crecimiento.

Entre los usos del cloro diferentes a los de la desinfección se encuentran los siguientes:

1. Destrucción o control de crecimientos indeseables de algas y organismos relacionados, en aguas y aguas residuales.
2. Destrucción y prevención del crecimiento de bacterias que fijan al hierro y forman cienos en las líneas de tubería y otros conductos de agua, así como también de bacterias formadoras de limo en las alcantarillas y plantas de tratamiento de aguas

residuales. El cloro libre (mediante cloración a punto de quiebre) puede controlar el crecimiento de moluscos de agua dulce en los conductos.

3. Destrucción de las moscas y de los crecimientos estacionarios de limos sobre los filtros percoladores.
4. Mejoramiento de la coagulación de las aguas y aguas residuales.
5. Control de olores en aguas y aguas residuales.
6. Estabilización de los lodos de tanques de sedimentación en plantas de purificación de aguas. Control de olores asociados al tratamiento de los lodos, incluyendo su secado.
7. Prevención de condiciones anaeróbicas en sistemas de alcantarillado y en plantas de tratamiento de aguas residuales, demorando o reduciendo la descomposición.
8. Conversión de los cianuros a cianatos, como el NaOCN , en residuos industriales alcalinos.
9. Destrucción del ácido sulfhídrico en el agua y aguas residuales, y la protección para el concreto, mortero y pintura contra la acción corrosiva de este gas.
10. Reducción de los requerimientos inmediatos de oxígeno de los lodos activados retornados y del licor de los digestores dentro de las plantas de tratamiento.
11. Reducción o demora de la DBO de las aguas residuales descargadas en aguas receptoras.
12. Preparación en las plantas, de cloruro ferrosos clorado, el cual es un coagulante útil.

De estas aplicaciones la reducción de la DBO mediante cloración merece un estudio más amplio. Se encuentran incluidas cuatro clases de reacciones: 1) oxidación directa de los compuestos que ejercen DBO; 2) formación de cloramias bactericidas

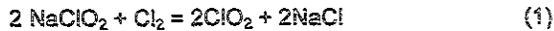
con los compuestos de nitrógeno, mediante sustitución del hidrógeno por cloro, 3) formación con los compuestos de carbono, de sustancias que ya nos son susceptibles de descomposición, también mediante la sustitución del hidrogeno por cloro; y 4) adición de cloro a compuestos no saturados para formar sustancias no sujetas a descomposición.

Se cita con frecuencia la observación de que si se aplica a las aguas residuales municipales una cantidad de cloro suficiente para producir un residual mensurable después de 15 min, entonces la DBO de cinco días a 20°C se reduce de un 15 a 35%, o en la relación aproximada de 2 mg por L de DBO a 1 mg por L de cloro. Sin embargo el conocimiento actual no se encuentra suficientemente bien cimentado para garantizar el uso de estas cantidades. La reducción de DBO depende no solo de la concentración de cloro, sino también de la condición de las aguas residuales.

La cloración de aguas negras frescas hasta trazas de residual en 15 min proporciona una reducción de solo 10%; en aguas negras estancadas la reducción es de 25 a 40%. Se requieren dosis de 100 a 300 mg por L para una reducción de 35% en aguas frescas; la dosis a punto de quiebre eliminó el 75%. La aeración efectuada antes de la cloración mejoró la reducción de DBO de las aguas negras frescas. Se observa, para todas las muestras aeróbicas, una disminución tanto en la demanda de la primera etapa como en la velocidad de satisfacción de la DBO. En aguas negras aneróbicas cloradas, la velocidad de la DBO se aceleró.

La destrucción de olores mediante productos químicos oxidantes tiene éxito cuando las reacciones implicadas producen sustancias carentes de olor. Esto no siempre sucede así. Las reacciones entre el cloro y el ácido sulfhídrico es un ejemplo de reacción conveniente; se precipita azufre elemental sin olor. Mientras más fuerte sea el agente oxidante, existe mayor certeza en la eliminación de las sustancias ofensivas; por esta razón, es tan efectiva la cloración a punto de quiebre. La producción de clorofenol por cloración marginal y la intensificación de los sabores cuando se cloran aguas que contienen *Synura*, u otras algas constituyen una prueba en contra de las medidas parciales.

Se ha mencionado ya que el cloro se puede aplicar al agua con el propósito específico de reducir el olor y sabor. Este versátil elemento sirve también a este propósito como bióxido de cloro (ClO_2), o como un reactivo en la producción del ClO_2 . El bióxido de cloro, que es un gas en su forma pura, se desprende del clorito de sodio (NaClO_2) al permitir que una solución de este sólido reaccione con una solución fuerte de cloro (7500 mg por L de Cl_2 ó pH < 3.5) o, menos frecuentemente con una solución acidulada de hipoclorito de calcio o de sodio.



La relación teórica de cloro a clorito de sodio es 1:2.6, pero en la práctica se emplean valores entre 1:2 y 1:1 con clorito de sodio comercial (82% NaClO_2). Las dosis comunes de bióxido de cloro se encuentran entre 0.2 y 0.3 mg por L. Aun cuando el bióxido de cloro es en sí mismo un desinfectante, el exceso de cloro normalmente empleado en su generación, en vez del ClO_2 , es generalmente en el que se basa el logro de la desinfección. El bióxido de cloro parece ser particularmente efectivo en la destrucción de sustancias fenólicas. Se ha utilizado con un éxito parcial en comparación con otros compuestos productores de sabor.

CAPITULO 3**COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CLORACIÓN****III.1 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO**

Hay dos tipos básicos de equipos utilizados en desinfección por cloración: alimentadores de gas cloro e hipocloradores. Cada tipo tiene usos específicos y contienen por sí mismos variaciones en el sistema, pero sus rasgos básicos de diseño son muy simples.

Los sistemas de alimentación de cloro pueden ser divididos dentro de 4 tipos básicos:

- Solución directa o sistemas de alimentación del químico seco.
- Sistemas de gas a solución.
- Inyección de gas directa
- Alimentación y generación en sitio.

El hipoclorito y el cloro pueden ser generados electrolíticamente a partir de la salmuera o sal usando celdas diseñadas especialmente, y una fuente de poder ordinaria. Algunos equipos fabricados pueden alimentarse de unidades empacadas que incluye un sistema de alimentación. Esta alternativa es especialmente atractiva en lugares donde las leyes locales no permiten transportación de químicos peligrosos tal como el cloro, en sitios donde la alimentación del químico no sea fiable por la localización tan especial del sitio o por las restricciones que haya en el lugar. El rango de capacidad de las unidades va de los 10 kg/día a 24,000 kg/día (22 lb/día a 53,000 lb/día).

III.1.1 SOLUCIÓN DIRECTA O SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE QUÍMICO SECO

El hipoclorito de sodio (NaOCl), 12 a 15% de cloro disponible es la solución mas comúnmente usada para desinfección. Este es usado por extenso para albercas y plantas de tratamiento de aguas pequeñas (de 5,000 lts/día de capacidad), es más seguro de manejar que el gas cloro, y esta disponible comercialmente en grandes cantidades, desde

recipientes de 4 litros hasta tanque camiones de 8,000 lts. El hipoclorito de calcio ($\text{Ca(OCl)}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) un blanco granular o tableta de material con 70% de cloro disponible, puede ser alimentado directamente al agua en polvo o puede ser convertida en solución y ser bombeada, sacada, o alimentada por gravedad al punto de aplicación. El hipoclorito de calcio incrementa el pH y dureza, la cual en pequeñas plantas puede simplemente alimentarse químicamente para solucionar el problema y eliminar el pH necesario con cal o sosa cáustica. La obstrucción de las tuberías por carbonato de calcio puede ser un problema que se tenga que resolver.

III.1.2 SISTEMAS DE GAS A SOLUCIÓN

El sistema de gas cloro a solución es el método de desinfección más comúnmente usado en U.S.A. El sistema básico puede incluir uno o más cilindros de gas cloro, vaporizadores, clorinadores e inyectores más un sistema de tubería.

El inyector es el componente del sistema más esencial. El inyector crea un vacío que permite al gas cloro ser medido y manejado por debajo de la presión atmosférica y asegurar que el sistema de alimentación de cloro entero sea seguro y digno de confianza. El inyector también convierte al gas cloro a una solución concentrada de cloro de 100 a 3500 mg/ft.

III.1.3 INYECCIÓN DIRECTA DE GAS

El gas cloro puede ser inyectado directamente dentro del flujo principal, de este modo se elimina la fase de solución en el sistema. Este tipo de sistema puede ser significativamente más eficiente para matar bacterias o virus, especialmente cuando otros constituyentes solubles en agua (como amoníaco) pueden ser competencia para el cloro. Sin embargo, la inyección directa no es un procedimiento común.

III.2 ALMACENAJE DE GAS CLORO.

El gas cloro es almacenado en forma líquida presurizada en cilindros. La presión de almacenaje en los cilindros varía con la temperatura ambiente como se muestra el cuadro 3-1. El cloro es transportado en tanques o contenedores de acero para soportar

presión (fig. 3-1) con capacidades de 45 y 70 kg (100 y 150 lb), y cilindros de una tonelada, aunque existen camiones con tanque cilindros de hasta 16 toneladas (35,000 lb), y carros de ferrocarril y barcazas con capacidades de 16 a 90 toneladas de almacenaje.

Los camiones con tanque de almacenamiento no tienen medidas estándares, estas se deben de obtener de los proveedores de cloro. Las dimensiones de los carros tanques de ferrocarril que permiten la transportación del cloro están mostradas en el cuadro 3-2. Por muy grandes que sean las instalaciones del tratamiento de agua, se pueden necesitar tanques estacionarios, vía de ferrocarril, o podría llegar a ser útil un muelle para barcaza, dependiendo del lugar y el espacio donde se tiene la planta de tratamiento

CUADRO 3.1

°C	°F	kPa	Psi
-20	-4	74	10
0	32	273	39
20	68	582	83
40	104	1045	149
60	140	1705	243

El cloro, como ya se mencionó con anterioridad debe de ser aplicado, la mayoría de las veces, directamente como un gas o en solución acuosa. Un típico sistema de alimentación de cloro se muestra en la fig. 3-2.

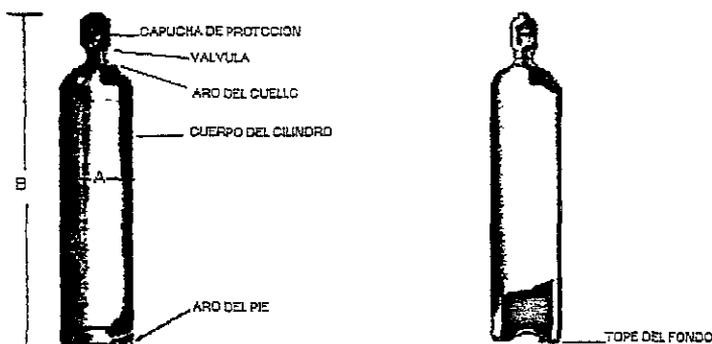
El cloro puede ser retirado de los contenedores de cloro ya sea en forma líquida o en gas. Si sale como un gas, la evaporación del líquido en el contenedor resulta en forma escarchada que restringe la velocidad de salida a 18 kg/día (40 lb/día) para cilindros de 68 kg (150 libras) y 250 kg/día (450 lb/día) para contenedores de una tonelada (0.907 Mg) a una temperatura de 21°C (70°F). La presión que existe arriba del líquido causa que este se evapore, proporcionando el gas que se requiere.

Se usan los vaporizadores donde la máxima velocidad de salida de gas cloro de un contenedor de 1 tonelada (0.907 Mg) deben de exceder aproximadamente 400 lb/día (180 kg/día). Aunque varios cilindros de una tonelada pueden ser conectados para proporcionar

CUADRO 3.2

	Longitud (pies)	Altura global (pies)	Altura de la válvula (pies)	Ancho (pies)
Tamaño	45	7	~	10
16-ton	33	11	9	9
30-ton	34	13	11.5	9
55-ton	41	14.5	13	10
85-ton	47	15	13	10.5
90-ton	46	15	13	10.5

más de 400 lb/día, el uso de un vaporizador conserva espacio. Los vaporizadores son casi siempre usados cuando la dosis total excede 680 kg/día (1500 lb/día). Los vaporizadores de cloro están disponibles en tamaños que van de un rango de 1818 a 4545 kg/día (4,000 a 10,000 lb/día) de capacidad; los cloradores están disponibles en tamaños que van de un rango de 227 a 4545 Kg/día (500 a 10,000 lb/d).



Contenido neto de los cilindros Kg (lb)	Tara aproximada Kg (lb)	Dimensiones	
		A	B
45.4 (100)	33.1 (73)	210 (8.25)	1.384 (54.5)
68.0 (150)	41.7 (92)	260 (10.25)	1.384 (54.5)

FIGURA 3.1. Recipientes de presión típicos para cloro.

Los cilindros de 70 Kg (150 lb) son movidos, almacenados y usados verticalmente. La válvula del cilindro es una válvula vertical que incorpora un fusible enchufado a su cuerpo. Este enchufe está diseñado para derretirse a los 70° ó 74°C (158° o 165° F) para prevenir la ruptura hidrostática del cilindro.

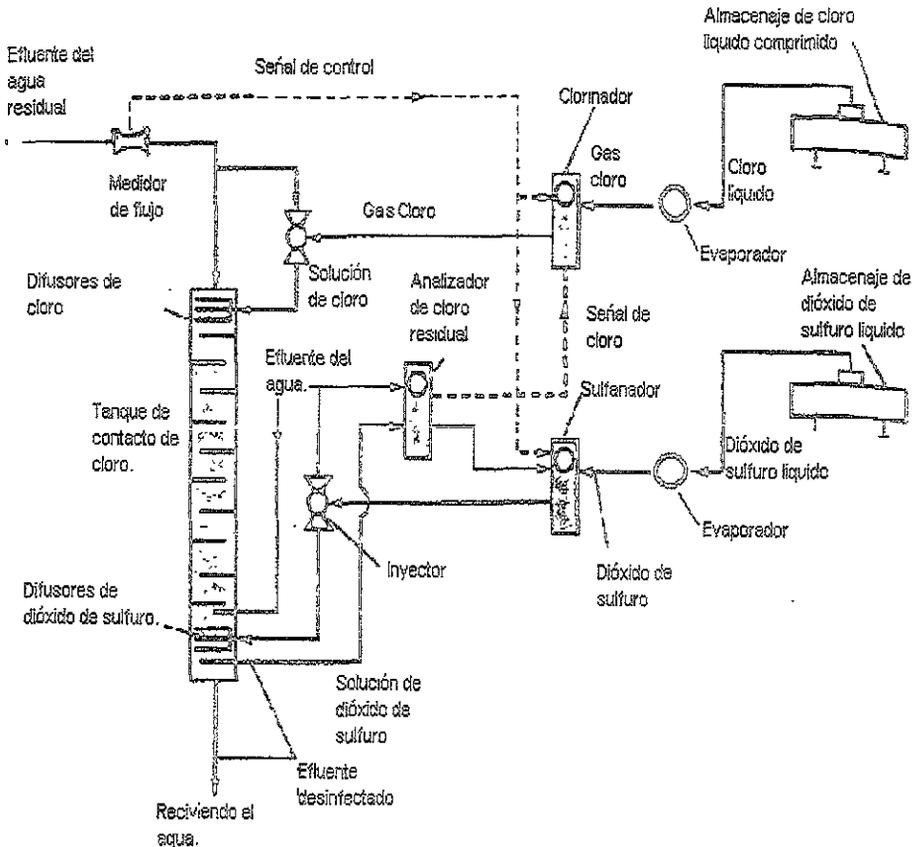


FIGURA 3.2. Diagrama esquemático de flujo de cloración.

Los cilindros de una tonelada son movidos, almacenados y usados en posición horizontal, con la válvula del cilindro localizada cerca de la mitad del final del cilindro. La válvula del cilindro es similar a la válvula de cilindro vertical estándar excepto que esta no tiene fusible para enchufarse. Los fusibles enchufados están localizados en otra parte de la cara final del mismo contenedor.

Cada válvula de un contenedor de una tonelada es conectada a un tubo interno al contenedor, y por esta razón, las válvulas en un cilindro de una tonelada deben ser colocadas en posición vertical, para permitir la salida de gas de la válvula superior y la salida del líquido de la válvula más baja. En la mayoría de los lugares de U.S.A y del mundo la válvula superior es orientada por una conexión mano derecha. Sin embargo en la mayoría de los estados del este de U.S.A., es más común la conexión mano izquierda. El tipo de conexión llega a ser importante cuando el tipo de equipo en uso es directamente montado en los cilindros.

Existen disponibles para transportación los camiones de 15 a 20 toneladas, como también lo están los carros de ferrocarril con unidades de 16, 30, 55, 85 y 90 toneladas de capacidad. Los tanques barcazas de 600 a 1200 toneladas de capacidad son usualmente usados para transportes gruesos, pero raramente se utilizan para conexiones directas de un sistema de cloración. Los tanques deben de ser diseñados para soportar un 120% de la presión máxima de trabajo esperada, pero no menos de 225 psi.

Los contenedores de cloro nunca deben de estar completamente llenos; se debe de proporcionar espacio para que el líquido se expanda. Aproximadamente el 85% del volumen cuando el producto está entregado.

Debido a las variaciones en la presión en el cloro líquido por las temperaturas, la cantidad de cilindros que se tiene, puede ser estimada confiablemente por su peso.

La mayoría de las plantas que tienen un rango de velocidad de alimentación 10 a 1000 kg (22 a 2,200 lb) por día usan cilindros de 900 kg (2,000 lb). Para plantas que usan más de 1000 kg (2,200 lb) por día, se debe de considerar tener en el sitio un grueso almacenaje de cloro en tanques estacionarios, tanque camiones, o tanques ferroviarios.

La cantidad mínima de cloro almacenado en una planta es usualmente establecida por el estado o las regulaciones de agencias locales. Típicamente se abastece cada 15 ó 30 días, y esto está basado en un promedio de velocidad de alimentación y flujo máximo que se proporciona en la planta. Mínimo se deberán proporcionar 2 cilindros o tanques.

Todo el cloro almacenado deberá ser cubierto o tapado. Donde la temperatura ambiente cae por debajo de 0°C en las áreas de almacenaje de cilindros deberán ser completamente encerradas y calentadas. Se deben de proporcionar cuartos encerrados con un ventilador con salida al nivel de piso, la puerta abrirá hacia fuera con dispositivos de peligro, deberá tener luces adecuadas, ventanas adyacentes o en las puertas, y equipo de seguridad.

Los otros equipo no deben de ser instalados o almacenados en el cuarto de almacenaje de cloro. En plantas pequeñas de menos de 200 kg/día (400 lb/día) de uso de cloro, los cloradores pueden ser instalados en el cuarto de almacenaje de cloro si las regulaciones lo permiten. Los cilindros de cloro deben contar con retenes o cadenas para prevenir su movimiento durante los temblores, Los cilindros más críticos 45 y 68 kg (100 –150 lb) deben de tener cadenas de seguridad para prevenirlos de una caída de una posición vertical, (ver fig. 3.3).

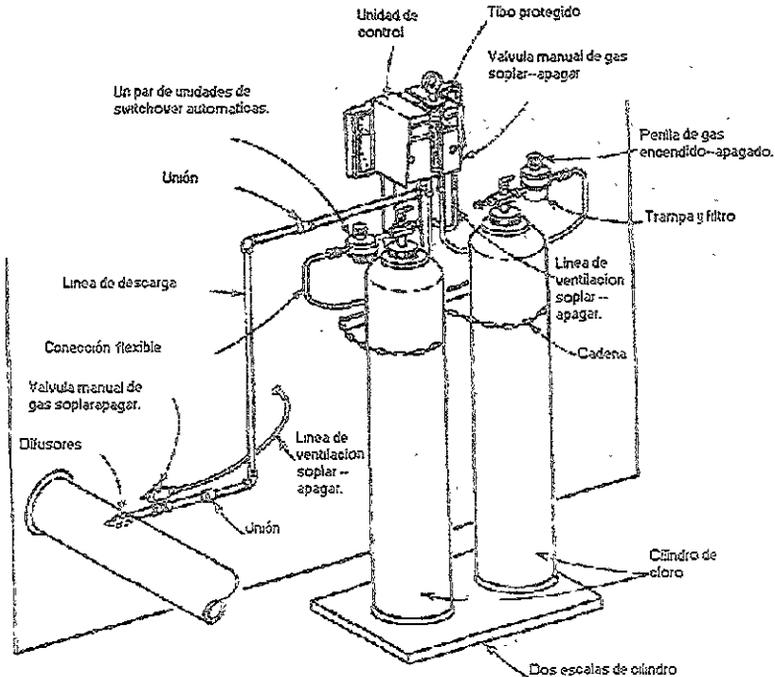


FIGURA 3.3. Detalles típicos de un clorador de alimentación directa (capacidad máxima 136 kg/día).

Alzar y transportar equipos de 900 kg (2,000 lb) para transferirlos de inventario a servicio es un punto importante que se tiene que considerar en las instalaciones que debe de haber en el almacenamiento de cloro. También se pueden usar grúas manuales o eléctricas de 3600 kg (4 ton). Una sección de un cuarto típico de almacenaje de cloro incluyendo la grúa se muestra en la fig. 3.4.

Los cilindros de cloro que están en servicio son generalmente montados en básculas (o plataformas de carga) con 2 o 3 cilindros en cada báscula. Similarmente los tanques estacionarios o tanques camiones deberán ser montados en celdas de carga para indicar y registrar el peso del cloro almacenado. Las básculas o plataformas de carga son dispositivos específicos que se pueden adquirir para que indique el peso localmente o a distancia.

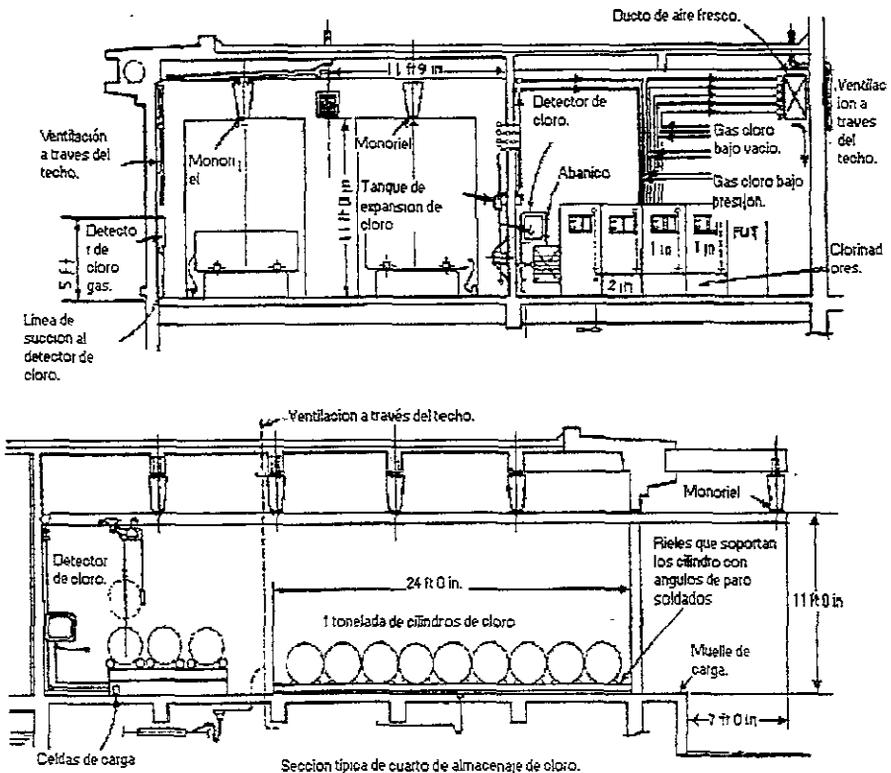


FIGURA 3.4. Sección típica de un cuarto de almacenaje de cloro y un cuarto de cloración.

Las alarmas de bajo peso o de contacto son usualmente incorporadas en las plataformas o indicadores de peso. En áreas sísmicas los cilindros deben de ser encadenados a las plataformas de carga para minimizar daños durante el temblor.

Si el regulador de vacío presión en un sistema clorinador no está directamente montado en el cilindro, o si se usa un vaporizador de gas cloro en el sistema, se requerirá un manifold o tubería de presión. Los manifolds de gas están formados por un conector flexible, usualmente con válvulas de aislamiento y una sección de tuberías de presión rígida con una pierna de goteo. Se pueden proporcionar algunas instalaciones con un montaje de calor o una envoltura de calor para la entrada del manifold. Esta envoltura de calor del conector flexible y tubería de presión del manifold reduce la producción de cloruro férrico y otros depósitos que puedan formarse dentro del manifold.

Usualmente para altas capacidades de gas, o para que se extienda el manifold arriba de 6m (20 ft) se requiere una válvula reductora de presión y también un filtro de gas. Este requerimiento no sería necesario si el regulador de vacío presión es localizado separado pero tan cerca como sea posible al cilindro u otra fuente de cloro, pero en algunos casos eso no es posible de hacer.

El gas cloro o liquido es transferido al manifold por medio de una tubería de cobre flexible con diámetro de 15 mm (0.5 plg). El gas cloro o liquido es transferido a los vaporizadores de cloro o directamente al clorinador por medio de acero rígido al carbón sin costura o tuberías de hierro forjado. El cilindro debe de tener válvulas donde la tubería de cobre flexible se conecta al manifold ya que se podrá mantener dos sistemas manifold separados. La tubería para cloro liquido o gas cloro debe de ser cédula 80 de acero sin costura, normalmente de 20 a 40 mm de diámetro (3/4 a 1 1/2 plg). Las juntas pueden ser soldadas, atornilladas, o unidas con una brida y las válvulas deben de ser de asiento de metal calculado para soportar 4,000 kpa, (600psi).

Los equipos en las instalaciones del cloro estacionario en USA deben de ser diseñadas en completa concordancia con las recomendaciones del Instituto de Cloro colocadas en el fascículo no. 5 *Facilities and Operating Procedures for Chlorine Storage*.

Se recomienda además un sistema de relleno de aire para descarga del carro tanque y remoción del gas del tanque para inspección. El compresor para el relleno de aire debe tener una capacidad no menos que 14 scfm a 200 psi. Esto debe de ser equipado con un switch de presión, y además con un receptor de 80 gal, que se encuentra en el código ASME, con un enfriador de aire. El aire debe de ser secado con un calor – reactivado, desecativo con un tipo de aire más seco capaz de alcanzar un punto de rocío de 40° F. Se debe de instalar una alarma de humedad en esta parte del sistema.

III.3 VAPORIZADORES

La velocidad máxima de salida de cloro de cilindros de 900 kg (2,000 lb) depende da la temperatura, pero en general si excede 150 kg (330 lb) por día, o en algunos otros lugares si el requerimiento diario excede aproximadamente 1 ton de cloro y 230 kg (500 lb) para bióxido de sulfuro, será necesario usar un vaporizador (o evaporador) para surtir el calor latente de la evaporación de cloro líquido a menos que dos cilindros estén conectados en paralelo, como ya se dijo. Varios cilindros de una tonelada pueden proporcionar más de 180 kg/día, así que los vaporizadores podrían utilizarse como medida cuando la dosis total a aplicar exceda 680 kg/d. Aunque existen con capacidades de 4,000, 6000, y 8000 lb/día.

Cuando un vaporizador es usado, el cloro líquido es sacado del fondo del contenedor y transportado al vaporizador, donde es convertido a gas. Las cámaras de expansión de cloro se deben de proporcionar en todas las tuberías de cloro líquido. Las cámaras que permiten al cloro expandirse deben de tener la función de aislar el cloro en el sistema de tuberías y de no permitir incrementos de temperatura.

Las válvulas reductoras de presión son requeridas antes de los cloradores en la entrada de la tubería. También es aconsejable proporcionar una caldera para cloro antes de las válvulas reductoras de presión. Comúnmente el vaporizador va a traer líquido químico de la válvula más baja en un contenedor de una tonelada, pero eso puede también conectarse directamente al carro tanque, al camión tanque, o tanque de almacenaje grueso o barcaza.

En el caso de contenedores de una tonelada, el Instituto de Cloro en U.S.A. no recomienda cilindros con manifiolds para salida del líquido, por lo tanto, si se requiere más de una tonelada en un periodo corto de tiempo, se deberá considerar usar un switch automático de salida de agua. La mayoría de las veces, es común que, los vaporizadores usen un calentador de resistencias eléctricas rodeando un envase en el cual el cloro líquido es convertido a gas.

Un vaporizador de cloro (fig. 3.5) ó bióxido de sulfuro está formado de una cámara interior dentro de la cual se introduce gas líquido y de una cámara exterior que opera como una tina de agua y se mantiene a altas temperaturas por inmersión de calor. La unidad tiene un nivel de control para agua y temperatura. El cloro o vapor de bióxido de sulfuro que es manejado fuera del líquido en la cámara interior pasa fuera del vaporizador hacia un deflector supercalentado, pasando por un disco de ruptura con cámara de expansión y una válvula reductora de presión controlada automáticamente que entra al clorador.

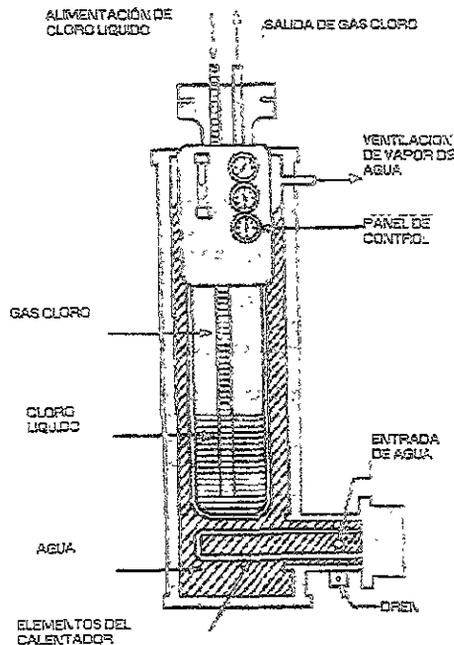


FIGURA 3.5. Vaporizador típico de cloro o bióxido de sulfuro.

Adicionalmente se debe de utilizar obligatoriamente, un filtro de gas cloro (o bióxido de sulfuro) en el vaporizador afuera de la tubería, para remover impurezas en el cloro que irían en detrimento del clorador.

Algunas veces la tina es calentada con vapor o con un sistema separado de recirculación de agua caliente. La figura 3.6 muestra un corte de un vaporizador típico. El calor de evaporación del cloro es muy lento, aproximadamente 69 cal/g, comparado con 540 cal/g para agua. Sin embargo, la evaporación debe de ser diseñada con capacidad extra para asegurar que el gas se encuentre supercalentado y no vaya a recondensarse el mismo a la salida del vaporizador.

Los vaporizadores deben de ser equipados con una válvula automática de interrupción para prevenir que el cloro líquido pase al clorador. Cuando sea posible, todas las partes del sistema de alimentación el cual contiene cloro líquido debe de ser diseñado para operar con todo el líquido en el sistema, como un medio continuo. Para apagar el vaporizador, solo se necesita cerrar la válvula del efluente. No debe de ser cerrada otra válvula entre la válvula del efluente del vaporizador y el contenedor de cloro líquido. Si la tubería muy larga de cloro líquido hace esto imposible, se deben de utilizar cámaras de expansión de cloro. Esto se debe de enfatizar ya que el cloro líquido tiene un alto coeficiente de temperatura – expansión. Si no se restringe la expansión, el incremento de temperatura en el líquido atrapado va a resultar en un incremento en la presión suficiente para provocar la ruptura de la tubería.

Existe una mayor diferencia entre la operación de sulfanadores y clorinadores centrales; es la diferencia de presión de vapor entre el bióxido de sulfuro y cloro; la presión de vapor del bióxido de sulfuro es aproximadamente la mitad del cloro.

Un contenedor de una tonelada de cloro puede producir aproximadamente 230 kg/día (500 lb/día) de gas cloro por vaporización natural dentro del cilindro. Por consiguiente, más de los sistemas arriba de 680 a 900 kg/día (1500 a 1200 lb/día) de capacidad no usan los vaporizadores de cloro. Sin embargo, un cilindro de una tonelada de bióxido de sulfuro puede producir sólo de 110 a 140 kg/día (250 a 300 lb/día) de bióxido de sulfuro gas. De este modo, vaporizadores de bióxido de sulfuro son comúnmente usados en sistemas con capacidades tan bajas como 230 kg/día (500

lb/día). Es importante señalar que cuando se utiliza un vaporizador por arriba de su capacidad se pueden producir errores en el sistema.

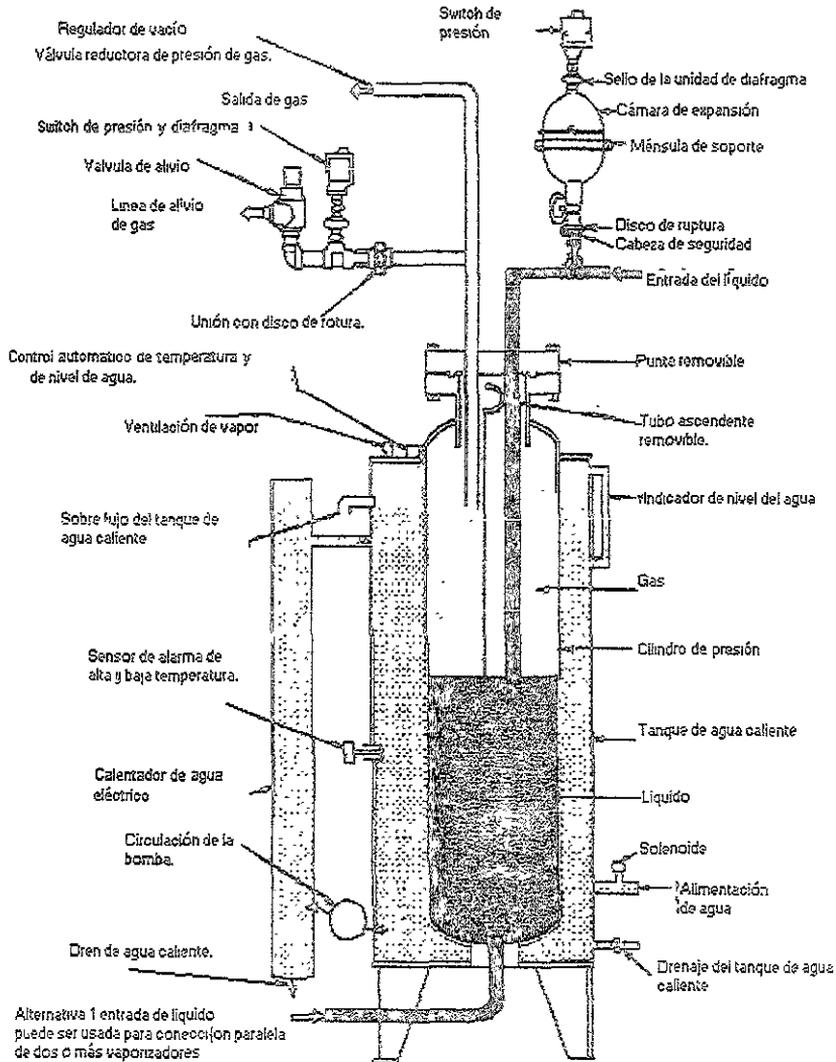


FIGURA 3.6. Sección de un evaporador típico.



III.4 CLORADORES

Se les llamará clorinadores a los alimentadores de gas a diferencia de los hipocloradores. Un clorador tiene los siguientes componentes básicos: un regulador de vacío presión, un control de velocidad de alimentación, un aparato de inyección operado por un venturi y un medidor de flujo (fig. 3.7). Todos los cloradores diseñados para uso corriente están formados por estos componentes (ocasionalmente se usan alimentadores de presión directa, pero su utilización es rara, especialmente en desinfección de aguas residuales, estos son usados primordialmente en áreas alejadas).

El regulador de vacío presión puede ser encontrado en muchas y variadas configuraciones, dependiendo de la manufactura y de la capacidad de velocidad de alimentación del sistema. En sistemas de desinfección de aguas residuales el regulador de vacío presión es usualmente encontrado en el gabinete de control (frecuentemente llamado el clorador) pero algunas veces no muy frecuente también es montado en la pared o en el cilindro de gas cloro. Esta última opción está llegando a ser estándar para una velocidad de alimentación de 230 kg/día (500 lb/día) de cloro.

El regulador de vacío presión puede ser un aparato que se opere por medio de un diafragma con un lado del mismo abierto a la atmósfera, y se abrirá si, la presión de gas cloro crece. Alternativamente a esto, un lado del diafragma puede ser conectado al alimentador de gas presurizado y el otro lado puede ser conectado a la fuente de vacío.

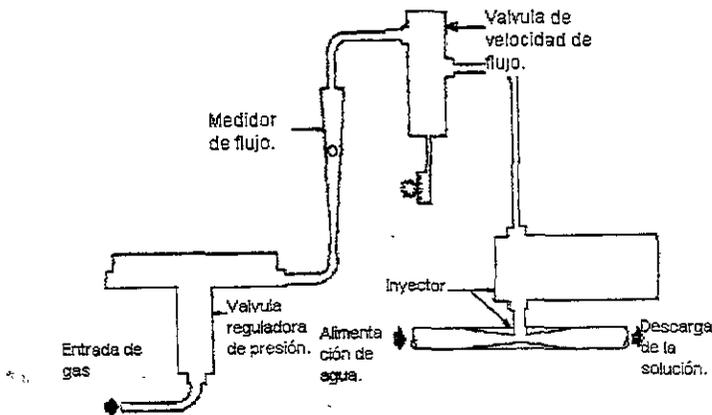


FIGURA 3.7. Componentes básicos de un clorador

En general el gas cloro viene al clorinador y pasa a presión constante (usualmente un vacío moderado) por el influente de la válvula reductora de presión. El cloro entonces pasa hacia el rotámetro, donde la velocidad de flujo es medida por debajo de las condiciones de presión constante (y en consecuencia densidad constante), entonces pasa hacia un medidor u orificio de control. El flujo que pasa hacia el orificio de control, puede ser ajustado abriendo el orificio. El orificio de control tiene un típico rango de 20 a 1, mientras que el regulador de vacío diferencial tiene un rango aproximada de 10 a 1. De este modo, el rango de los componentes combinados es de 200 a 1. Por otro lado un rotómetro típico tiene un rango de 20 a 1. De este modo el clorador debe de ser seleccionado basándose en las capacidades de diseño, y el rotómetro instalado en el algún tiempo particular debe de ser apropiado para las demandas corrientes.

El aparato que controla la velocidad de alimentación puede ser simplemente operado de forma manual por una válvula, ya sea por un orificio de aguja o de cierto tipo de orificio que dependerá de la complejidad del sistema de control. Este es el aparato que el operador usa para ajustar el ritmo de alimentación de gas cloro. Este aparato se calibra para dar el ritmo de alimentación dependiendo de las unidades que se quiera manejar, ya sea en kg/día o lb/día.

En plantas pequeñas de 1 a 25 kg/día (2 a 55 lb/día) donde usan cloro, los clorinadores pueden ser montados arriba o a lado a los cilindros de cloro. En plantas más grandes los cloradores son generalmente instalados en un cuarto separado de los cilindros de cloro.

Es aconsejable que los cloradores tengan una máxima velocidad de alimentación en un rango de 50 a 3600 kg/día (100/ 8,000 lb/día) y un rango de operación de 0.05 a 1.0 de capacidad máxima.

El inyector o eyector es un aparato operado por un ventury que está formado por una boquilla y garganta, estos componentes específicos utilizan una alimentación de agua presurizada y por principio un ventury para crear una succión en la tubería de alimentación dada. Este aparato está diseñado para producir un vacío, y producir una caída de presión, se hace un ajuste en la velocidad del flujo del agua y la presión es pasada hacia allá, tiene una válvula check que previene la salida del agua por la espalda

de la alimentación dentro del clorador. Los inyectores de cloro localizados después de los cloradores, crean una succión en la tubería de alimentación de cloro la cual atrae el gas cloro del clorador. El gas cloro es atraído dentro de la garganta o área de baja presión del inyector y mezclado con el agua acarreada.

El cloro se disuelve fácilmente en agua a un máximo de 3500 mg/L. Los inyectores pueden ser localizados a lado del clorador con la solución transportada al punto de difusión o al lado del punto de difusión con el gas cloro escoltado del clorador al inyector. La cantidad y presión de agua requerida para operar el inyector depende del diseño, así mismo también depende de la velocidad de alimentación de cloro requerido y la presión de respaldo en la línea de solución. La presión de respaldo en la línea de solución de cloro puede ser reducida por un diseño adecuado en el diámetro de la línea de solución. La velocidad normal en la línea de solución es aproximadamente 1 a 2 mg/seg (3.3 a 6.6 ft/seg).

Después de la inyección, la solución de cloro puede ser proporcionada a varios sitios de alimentación por la válvula de admisión e indicadores de flujo (rotómetros) en dos o más líneas de solución. El gas cloro puede ser inyectado directamente dentro del flujo de la planta principal por inyectores sumergidos en un conducto. La inyección de gas cloro puede ser más eficientemente que la adición de cloro en solución.

Estos componentes son usualmente operados desde lejos del clorador, aunque también pueden hallarse en la cabina de control de algunas instalaciones.

El inyector es un componente crítico del clorador por dos razones: primero, es un componente hidráulico creado por debajo del vacío el cual sistema opera, y segundo, la mezcla de gas con el agua recuperada produce la solución ácida hipoclorosa la cual es inyectada dentro del agua residual. Si las condiciones hidráulicas bajan el inyector no operará con las condiciones correctas, el sistema entero operaría erráticamente.

El diagrama de flujo de un sistema de alimentación de gas cloro o en solución acuosa, se puede observar en la fig. 3-2 (ya mostrado con anterioridad en este capítulo).

III.5 DIFUSORES

El cloro debe de ser dispersado rápidamente dentro del flujo principal de la planta. En agua filtrada clara con baja demanda de cloro, la dispersión puede no ser necesaria, si el flujo es turbulento y entero después de los difusores y para una corta distancia. En aguas con demandas de cloro más grandes que 1 mg/L o con cuenta de coliformes en exceso de 22/100 mL, se debe de proporcionar una difusión y mezcla suplementaria.

En tuberías pequeñas con menos de 500 mm de diámetro, la solución de cloro debe de ser inyectada a lado de la tubería, como se observa en la fig. 3-3 (ya mostrada con anterioridad en este capítulo). La entrada debe de extenderse 0.2 diámetros de las paredes de la tubería o forro de la tubería. En tuberías con diámetro más grandes, los difusores, normalmente tuberías perforadas de PVC, están diseñadas para dispersar el cloro a través de la sección del flujo. Las perforaciones en difusores deben de estar diseñadas para producir, con de 2 pies de tamaño en cada orificio; una velocidad de flujo en cada orificio de 0.13 a 0.26 L/seg. (2 a 4 gpm).

Se debe de proporcionar una ráfaga suplementaria, o hidráulica, mezclada para aplicaciones en donde la demanda alta de cloro puede interferir con la desinfección tal como la cloración de aguas residuales secundarias y flujos principales de agua contaminados en plantas de tratamiento de agua. La típica energía requerida (G) para cloro mezclado suplementario está en el orden de 400 seg^{-1} .

III.6 TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

Debido a la importancia del tiempo de contacto, se debe de poner cuidadosa atención en el diseño de la cámara de contacto para que al menos 80 a 90 por ciento del agua residual sea retenida en el tanque, para cumplir con el tiempo especificado de contacto. La mejor manera de llevar a cabo esto es usar una serie de tanques interconectados o compartimentos. Los tanques de contacto de cloro son construidos de un modo de serpentin, y para conservar el espacio se requiere poner cuidadosa atención en el diseño. La razón para hacer esto es el desarrollo de zonas muertas con respecto al flujo que va a reducir el tiempo de detención hidráulica.

La colocación de deflectores longitudinales y aspas en la vuelta pueden dar buenos resultados y mejorar el tiempo de retención real.

Para mejorar de la planta de tratamiento, se deben de usar dos o más tanques de contacto para facilitar el mantenimiento y remoción de lodos acumulados. El suministro de drenaje y eliminación de espuma también debe de ser incluido. El limpiador tipo vacío puede ser usado para drenar el tanque para remover el lodo. El *bypass* del único tanque de contacto que existiese en la planta para mantenimiento se debe de utilizar en raras ocasiones, y sólo con la aprobación de las agencias reguladoras.

Si el tiempo de viaje en la desembocadura de la alcantarilla en el máximo flujo de diseño es suficiente para igualar o exceder el requerimiento de tiempo de contacto, podría ser posible eliminar la cámara de contacto de cloro, siempre y cuando las autoridades reguladoras estén de acuerdo. En algunas plantas pequeñas, el tiempo de contacto de cloro ha sido construido del largo - diámetro de la tubería del albañal.

Necesariamente para proporcionar un tiempo de contacto adecuado para lograr la desinfección o para encontrar el requerimiento impuesto por la ley, el tiempo de contacto o detención es de 10 a 120 min. requeridos antes de la distribución o la descarga del agua dependiendo del nivel de cloro residual. Se necesitan mínimo conductos largos para circuitos cortos, circulares y cuadrados; y tanques rectangulares anchos y profundos.

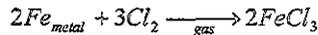
Si el riesgo de encontrar cuentas positivas de coliformes en el efluente del agua tratada es bajo, un agua limpia o tanque de agua tratada, con flujo a través de la tubería, es generalmente satisfactorio como un tanque de contacto.

Los tanques de contacto de cloro deben de ser cubiertos para prevenir la interferencia de la luz solar con la desinfección. En la mayoría de las plantas de tratamiento de agua, el cloro es adicionado antes de los filtros y el cloro residual positivo es mantenido por la media del filtro y las tuberías del efluente. En cuyo caso el tiempo que puede ser considerado de contacto será el tiempo medio del flujo que pase por el filtro fino que sirve para limpieza.

Donde el tiempo de contacto para clorar el agua suficientemente bien, sea crítico, se debe de incorporar un circuito corto, como prevención, dentro de la estructura de contacto de cloro. Se utiliza un método normal para proporcionar un tanque largo serpentino de entrada de flujo con una longitud a radio de 200 veces o más grande. Una estructura equivalente efectiva es un tanque con compartimentos, con al menos cuatro compartimentos y deflectores diseñados para distribuir el flujo a través de la sección. Los deflectores del tanque de compartimentos deben de ser desarrollados de 3 a 5 mm (1/8 a 1/4) de pulgada de tamaño a través de cada deflector debajo de las condiciones de flujo máximo.

III.7 MATERIALES

El gas cloro seco no ataca al acero al carbón a temperaturas normales; en consecuencia, el cloro líquido es empacado en contenedores de acero. Por otra parte, como el oxígeno líquido, el cloro líquido va a mantener una combustión del acero una vez que alguna porción de la superficie de contacto de acero/cloro haya sido calentada al punto de encendido (438°F). La reacción que se realiza es la siguiente:



Debido a este peligro potencial, nunca debe de ser aplicado calor a los contenedores de cloro, y todas las tuberías de cloro deben de ser claramente etiquetadas. Si una tubería de acero al carbón que contiene cloro líquido, a una presión reducida de gas cloro, es accidentalmente cortada con un soldador de antorcha, la tubería va arder y continuar quemándose, tanto tiempo, mientras haya alimentación de cloro.

Pequeñas cantidades de humedad van a causar también que el cloro ataque al acero. Como trazas cantidades pequeñas de humedad son inevitables, algo de producto de corrosión ($FeCl_3$) es siempre encontrado en contenedores de cloro y en las líneas de cloro.

El cuadro 3.3 muestra un resumen de los materiales preferibles que se deben de utilizar para el manejo del cloro en las tres partes básicas del sistema: en el sistema de alimentación, en las líneas de vacío gas, y en las líneas líquidas de cloro. La alimentación del sistema incluye los tanques de almacenaje y todas las tuberías e instalaciones a las válvulas reductoras de presión (VRP) en la entrada del clorinador, incluyendo el

vaporizador, si este se presenta. El sistema de vacío se refiere a todas las tuberías, instalaciones, y otros elementos en los cuales el gas cloro se encuentra en vacío, incluyendo el área que se encuentra entre las VRP que entran al clorador y el inyector. El sistema de líquido de cloro incluye todas las tuberías de arriba y de aguas abajo del inyector.

En el sistema de alimentación todas las partes deben de ser de acero al carbón. Las tuberías deben de ser cédula 80 soldadas sin costuras. Las reducciones que se utilicen no deben de ser "bushings" y las uniones de juntas con plomo se deben de utilizar, en lugar de las uniones con "ground". Todas las partes deben de encontrarse en los estándares de las regulaciones locales. Las válvulas de la línea principal deben de ser de esfera hechas de acero. Este tipo de válvula es preferible debido a que es fácilmente operada ya que la manija indica la posición de la válvula, a simple vista.

CUADRO 3.3

	Localización	Forma en que se encuentra el cloro	Material aceptable
Sistema de alimentación	Almacenaje y tuberías del almacenaje hacia la entrada del clorador	Cloro líquido Cloro gaseoso por debajo de la presión	Contenedores cédula 80 Acero al carbón Acero fundido
Sistema de vacío gas	Salida del clorador a la entrada del inyector	Cloro gaseoso por debajo del vacío	PVC cédula 80 Fibra de vidrio reforzada
Línea de cloro líquido	Inyector o difusor	Solución de cloro	PVC cédula 80

El sistema de tuberías puede ser ensamblada por soldadura o por rosca, aunque el utilizar soldadura es preferible. Si la tubería es roscada, el tipo de teflón que se utilice debe ser elegido cuidadosamente así como el lubricante de la rosca. Indicadores de presión tipos diafragma, sólo deben de ser instalados en el sistema de cloro, y estos deben utilizar diafragmas de plata.

III.8 OTROS TIPOS DE ALIMENTACIÓN

III.8.1 ALIMENTADORES DE BIÓXIDO DE SULFURO

Los alimentadores de bióxido de sulfuro, (sulfanadores o sulfurizadores) son similares en diseño y construcción a los cloradores. La mayor diferencia es que ellos están compuestos usualmente de diferentes materiales. Muchos sulfanadores están diseñados para prestar ayuda a los cloradores; esta practica es un poco peligrosa, sin embargo se puede hacer, debido a que el cloro y el dióxido de sulfuro pueden combinarse exotérmicamente, a menos que la unidad no esté bien purgada antes de la conversión de gas. El diagrama de flujo de su funcionamiento, al igual que el de la cloración se muestra en la fig. 3-8.

III.8.2 ALIMENTACIÓN CON BIÓXIDO DE CLORO

El bióxido de cloro está llegando a ser una alternativa popular para desinfección de agua para beber debido a sus excelentes propiedades bactericidas. A diferencia del cloro, el bióxido de cloro no forma trihalometános o toxicidad. Chow y Roberts han mostrado que la desinfección con bióxido de cloro de un efluente secundario no produce cantidades detectables de trihalometános o toxicidad, mientras que una mezcla de cloro y bióxido de cloro produce trihalometános y toxicidad en proporción directa al cloro contenido en la mezcla.

Algunas otras ventajas del uso de bióxido de cloro son las siguientes: no reacciona con amoníaco formando menos cloraminas efectivas como lo hace el cloro; es un efectivo bactericida en un rango amplio de pH, y es en algunos casos, significativamente más efectivo que el cloro; proporciona un residual medible; a diferencia del ozono y el cloro no oxida el ion bromido del bromo del cual se pueden formar trihalometános y toxicidad; y no reacciona para formar fenoles clorinados.

La mayor desventaja del uso del bióxido de cloro como desinfectante en agua residual ha sido el costo del equipo de la generación del mismo, y el químico precursor, el clorito de sodio, del cual el bióxido de cloro es producido. Recientemente avances en la tecnología de la generación del bióxido de cloro y en la tecnología de fabricación del

clorito de sodio deberán resultar en la baja de los costos considerablemente utilizando bióxido de cloro como desinfectante.

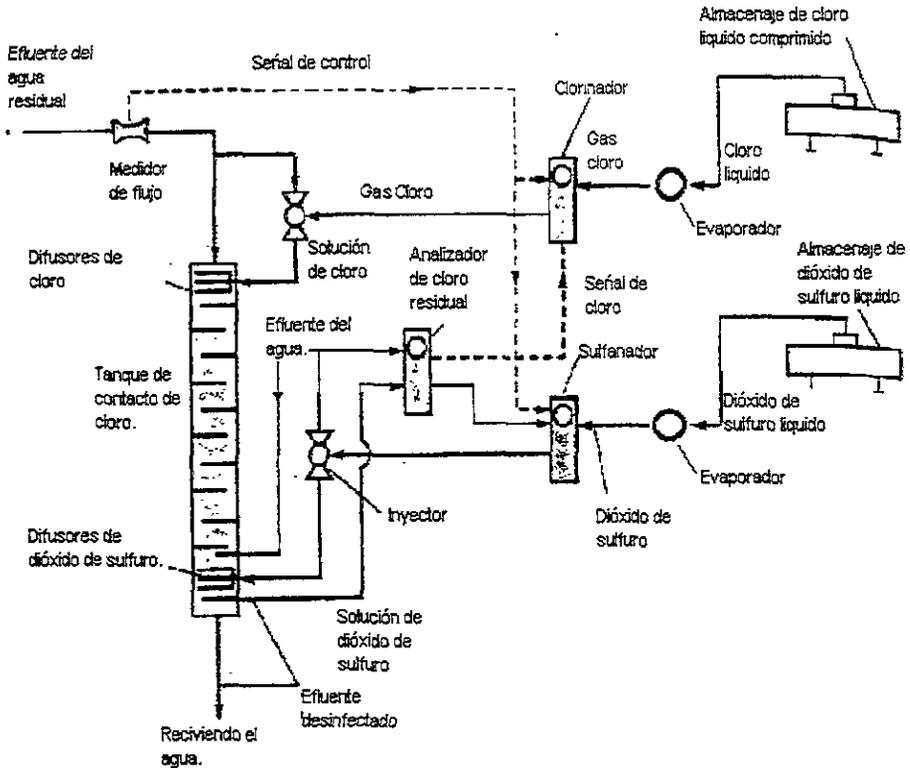
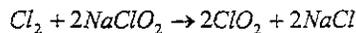


FIGURA 3.8. Diagrama esquemático de flujo de cloración/decloración por bióxido de sulfuro.

Debido a que el bióxido de cloro gas es inestable en bajas presiones, el bióxido de cloro debe de ser generado in situ. La generación del bióxido de cloro implica la reacción entre el cloro y el clorito de sodio:



De lado de la reacción que produce el clorato de sodio ($NaClO_3$) se encuentran también en posibles soluciones diluidas, especialmente si la concentración molecular del cloro, Cl_2 , es baja. Se ha probado que altas concentraciones de clorito de sodio y cloro

molecular favorecen la formación del bióxido de cloro. Por consiguiente la generación del bióxido de cloro debe ser diseñada y operada para proporcionar esas condiciones de reacción.

Otro método para la generación del bióxido de cloro requiere la preparación de una solución extremadamente alta en concentración de cloro por medio de un circuito cerrado de recirculación. La solución es alimentada de gas cloro hasta que el pH y las concentraciones de cloro sean tal que, la solución predominante contenga cloro molecular.

Esta solución y una solución de clorito de sodio son entregadas en una torre de generación donde la producción de bióxido de cloro toma lugar. Este método es capaz de proporcionar 90 a 95% de la producción; esto es, sin embargo, difícil de controlar y requiere tiempo de estabilización significativo para responder o cambiar el proceso.

Otro desarrollo en la tecnología de generación del bióxido de cloro es una unidad que causa que el clorito de sodio acuoso reaccione con el gas cloro por debajo del vacío. Este sistema, como otros sistemas más, es fácilmente integrado dentro del equipo existente de cloro. Sin embargo, esta unidad no requiere el uso de ácido, bombas de alimentación de químico o bombas recirculatorias de alta presión. El clorito de sodio y el cloro son entregados y provocados a reaccionar por debajo del vacío, de este modo se elimina el riesgo de una explosión asociada con el bióxido de cloro gas presurizado.

En la generación del bióxido de cloro, el cloro líquido es vaporizado y metido hacia un clorador, en solución acuosa es inyectado a un reactor en donde se mezcla con el clorito de sodio formando bióxido de cloro. El clorito de sodio puede ser comprado como un líquido (generalmente un 25% de solución) y medido directamente dentro de la torre de reacción, o puede ser comprado en forma de sal, con la solución líquida preparada en sitio.

Las soluciones de cloro y sodio son compradas juntas en el envase de porcelana. Un tiempo de contacto de aproximadamente un minuto es generalmente adecuado para lograr el mezclado. Para incrementar la velocidad de reacción y obtener la más alta producción de bióxido de cloro, se recomienda un pequeño exceso de cloro. Porque el

clorito de sodio es aproximadamente 10 veces tan expansivo como el cloro sobre un peso base, se deben de tomar en cuenta consideraciones económicas.

El bióxido de cloro producido por este proceso es generado y obligado a permanecer en solución acuosa. La aplicación de esta solución al agua o agua residual corriente es hecha de la misma manera como para los sistemas típicos de cloración. Al respecto, una más eficiente difusión y arreglo de mezclado, incrementaría la efectividad de desinfección por bióxido de cloro justo como para cloro el hipoclorito. Un esquema del diagrama de flujo de una instalación de bióxido de cloro se muestra en la fig. 3-9.

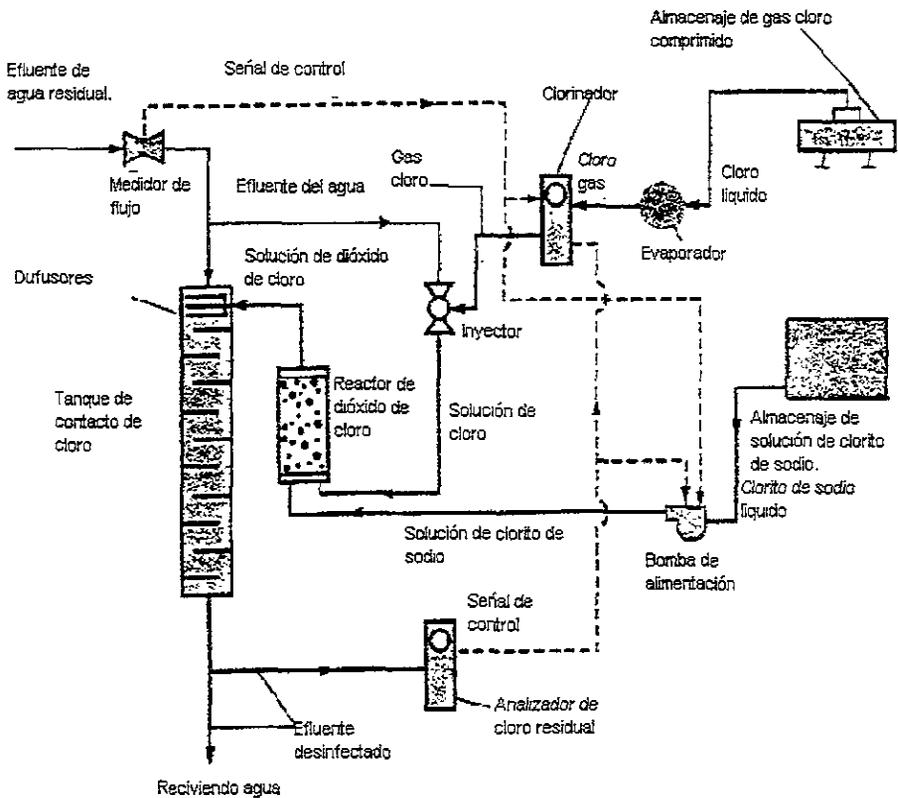
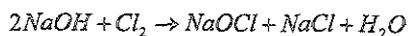


FIGURA 3.9. Diagrama esquemático de flujo de decloración por bióxido de cloro.

III.8.3 HIPOCLORADORES

En años recientes, en grandes áreas metropolitanas ha sido más frecuente el uso de hipoclorito que el de gas cloro debido a que se ha tenido en énfasis en la seguridad donde grandes cantidades de gas son almacenadas. Si el único criterio a considerar es el costo, siempre será escogido el cloro líquido más que el hipoclorito de sodio. A pesar del considerable costo adicional del hipoclorito sobre el gas cloro (2 a 4 veces), algunas plantas de agua residual utilizan este sistema.

El hipoclorito de sodio (líquido blanquezo) es formado por la combinación de sodio e hidróxido de sodio, y en algunos lugares es elaborado en sitio, con ambos de estos productos generados electroquímicamente. En otras ocasiones, este es fabricado del cloro y el hidróxido de sodio que han sido separadamente enviados al lugar de la fabricación. La reacción que precede en esta ocasión es la siguiente:



A menudo un leve exceso de hidróxido de sodio es adicionado e incrementa la estabilidad del cloro en el producto. Cuando el hipoclorito de sodio es adicionado al agua, esa hidrólisis forma ácido hipocloroso (HOCl), el mismo ingrediente activo el cual ocurre cuando el gas cloro es usado. La reacción del hipoclorito incrementa levemente los iones de hidróxido (incrementa el pH) por la formación de hidróxido de sodio, mientras que la reacción del gas cloro con el agua incrementa las concentraciones de iones de hidrógeno (decrece el pH), formando ácido hidrocórico. En la mayoría del agua, esa diferencia no es significativa, pero cuando las altas dosis de cloro son usadas en cierto tipo de aguas, este efecto se debe de considerar. Ello puede ser evaluado por un cálculo o por un simple test de laboratorio.

En el trato comercial, la solución de hipoclorito de sodio es usualmente expresada como porcentaje. El "porcentaje comercial" es actualmente una medida del peso por unidad de volumen, con 1% correspondiente al peso de 10 g de cloro disponible por litro. Comúnmente los blanqueadores de casa tienen una concentración comercial de 5.25%, tiene aproximadamente 5.25 g/100 mL ó 52.5 g de cloro disponible por litro. El cloro que se utiliza para las albercas usualmente tiene una concentración comercial de 12.5%.

Estas son las concentraciones aproximadas, y siempre deben ser confirmadas para un envío en particular por procedimiento de los laboratorios.

Todos los diferentes tipos de equipos usados para alimentación de hipoclorito de sodio o calcio (líquido o polvo blanco) se les llaman hipocloradores. Como los clorinadores, los hipocloradores de varios tipos y manufacturas tienen muchas configuraciones, pero los componentes básicos son similares en todos los casos.

Esos componente básicos son: un depósito o tanque de almacenaje para la solución de hipoclorito; una bomba que consiste de un mecanismo que bombea con desplazamiento positivo, un motor o solenoide; un dispositivo ajustable de velocidad de alimentación y un dispositivo de inyección, el depósito puede ser una bombona de solución de hipoclorito de sodio, o plástico, o envase de fibra de vidrio. Usualmente en el caso de que la alimentación de hipoclorito de calcio vaya a ser un dispositivo de mezcla se utiliza un agitador de hélice motorizado. También en el tanque se encuentra una válvula de pie y una coladera de succión la cual se encuentra a la entrada de la succión del hipoclorador.

El hipoclorador consta de una cámara con un diafragma de desplazamiento positivo, con una válvula check a la entrada y a la salida, y un mecanismo de conducción. Existen varios tipos de mecanismos de conducción. Uno consta de un motor de velocidad, con una leva para ajustar la longitud del golpe del diafragma y de este modo la velocidad de alimentación. Otro es un motor de velocidad variable, con el mismo tipo de leva. El motor de velocidad variable es controlado por una señal de entrada: una señal de flujo (alimentación hacia delante), señal residual (alimentación de reverso), o ambos (un circuito compuesto).

El tercer tipo de unidad de conducción consta de una válvula solenoide con golpe conducido por un eje, con ajuste independiente para la longitud del golpe y frecuencia de operación del solenoide. Este tipo de unidades de conducción puede ser operado con controles manuales para el golpe y frecuencia, o puede ser formado con un control automático de frecuencia, el cual es análogo al manejo de la velocidad variable en un hipoclorador de motor.

El hipoclorador debe desarrollar suficiente presión interna para inyectar la solución dentro de la tubería sin requerimiento adicional de reinyección de una bomba. Este es usualmente el criterio de diseño para el uso de un hipoclorador sobre un clorinador de gas.

En el caso de instalaciones muy pequeñas, se pueden utilizar dosificadores del tipo de goteo. Hasta 100 personas, pueden emplearse dosificadores controlados por orificio que hagan uso de un tanque de altura constante alimentado por gravedad desde un depósito superior. La única dificultad con que se tropieza es que los orificios se obstruyen, por lo que periódicamente convendrá destaparlos. El medio más satisfactorio para alimentar hipoclorito de sodio o calcio se logra con bombas dosificadoras de poca capacidad.

La mayor importancia que se tiene en la satisfacción de la alimentación de sodio o hipoclorito de calcio está dada por la baja capacidad que proporcionan las bombas en uso. Generalmente las bombas están disponibles en capacidades de 450 lts/día (12C gal/día), con un ajuste para cualquier valor por debajo de ese. Capacidades altas o unidades múltiples están disponibles por algunos de los fabricantes. Las bombas pueden ser arregladas para alimentar a una velocidad constante, o también se pueden proporcionar con una velocidad variable y con señales analógicas para variaciones de la velocidad de alimentación. Dicho intervalos pueden determinarse mediante un medio totalizador, que envía impulsos eléctricos a la bomba de modo que esta se alimenta durante un tiempo dado al régimen elegido, una vez que el caudal de aguas residuales haya atravesado el medidor.

Si la cloración tiene por objeto la desinfección, este método será solamente aplicable cuando el caudal pase a una cámara de suficiente tamaño en la que tenga lugar un buen mezclado que asegure una cloración continua. La alimentación de hipoclorito de sodio y de calcio por medio de este método ha ganado más aceptación en los últimos quince años. Un esquema del diagrama de flujo de una instalación usando hipoclorito de sodio se muestra en la fig. 3.10.

El mejor material para el almacenaje de hipoclorito de sodio no ha sido bien establecido, en algunos lugares se ha tenido una experiencia satisfactoria con tanques de

fibra de vidrio, y tanques de concreto forrados con fibra de vidrio no han tenido éxito. Tanques de acero al carbón forrados de PVC se usan en ocasiones con buenos resultados. Los tanques de hipoclorito deben de ser ventilados y la conexión al vehículo de entrega debe de ser con niples de titanium con abrazaderas de seguridad al tanque.

Los materiales aceptables que se pueden utilizar en tuberías son el PVC célula 80, o acero forrado con caucho. Los plásticos son generalmente más convenientes. Las válvulas deben ser de acero, y se pueden unir al PVC o polipropileno. Los difusores pueden ser diseñados usando PVC o Kynar. Debido a la alta salinidad en las soluciones hipoclorosas, esos difusores deben ser diseñados para velocidades altas para asegurar el mezclado por todas partes de la sección del canal. La velocidad del flujo es más comúnmente controlada por una válvula de diafragma.

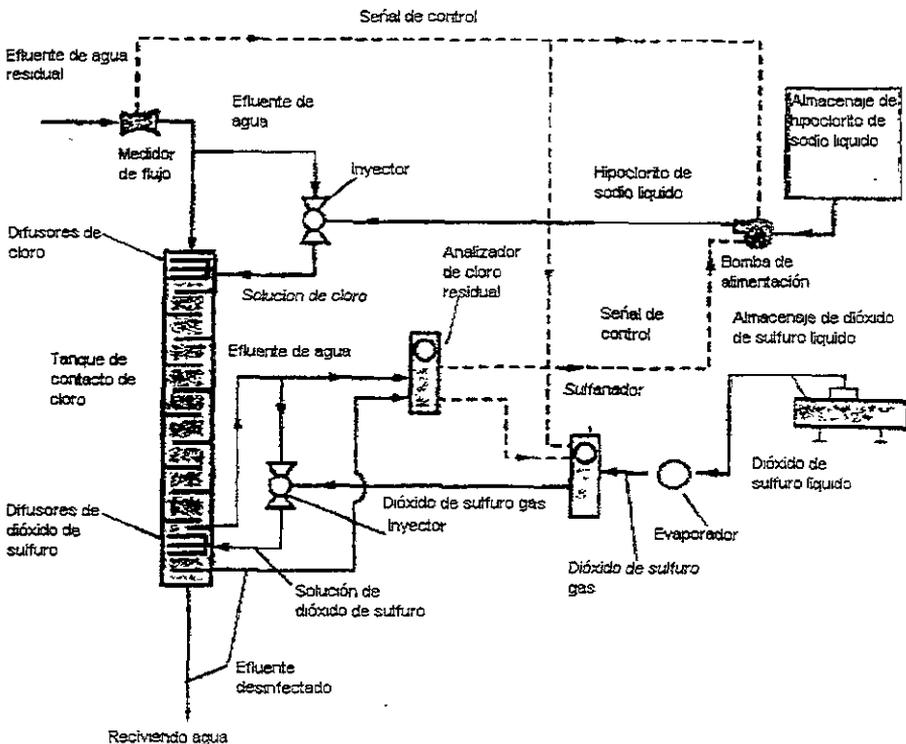


FIGURA 3.10. Diagrama esquemático de flujo de hipocloración/decloración.

III.9 ALMACENAJE Y VENTA DEL AMONIACO

Como se mencionó en el capítulo dos, cuando el cloro y el amoniaco se encuentran ambos presentes en el agua, reaccionan para formar un producto conocido como cloraminas. La aplicación del amoniaco en la corriente en combinación con el cloro varía, esto no parece ser una regla general sino está basada en recopilaciones de varias experiencias útiles.

La actual situación de los puntos de aplicación del amoniaco en los procesos de tratamiento existentes se encuentra en dos lugares, el tanque de contacto y/o después de la filtración. El punto de adición del cloro en el proceso de tratamiento varía un poco, pero las dos situaciones típicas son las mencionadas. Desde que el amoniaco va normalmente a permanecer en su estado original hasta la reacción con el cloro, un exceso de amoniaco puede ser llevado hacia la planta de tratamiento y va a reaccionar en algún punto con la adición de cloro. De este modo, no es usualmente necesario proporcionar más de dos puntos de aplicación del amoniaco.

En los casos en donde las cloraminas han sido utilizadas para mantener una más larga duración residual a lo largo del sistema de distribución, el amoniaco es adicionado al efluente del agua filtrada con cloro adicionado río arriba de este punto. De esta forma el cloro libre es mantenido en el tanque de floculación – sedimentación y en los filtros ayuda a reducir el crecimiento bacteriano y reduce la demanda de cloro en el agua, la cuál permite una más larga duración de la cloramina residual.

Muchas utilidades acarrear un cloro residual combinado a través de su proceso de tratamiento entero. El amoniaco es adicionado ya sea aguas arriba o aguas debajo de la adición de cloro, pero el tiempo antes de formarse el combinado residual es muy corto, 1 ó 2 segundos a lo mucho.

El amoniaco es un gas incoloro, con un olor irritante. Se encuentra en forma líquida para facilidad de almacenaje y manejo del mismo. El amoniaco líquido hierve a -28°F a presión atmosférica pero es normalmente almacenado en envases presionados y a temperatura ambiente. En USA la mayoría del amoniaco usado, es producido sintéticamente por el proceso Haber-Bosch por reacción del nitrógeno y el hidrógeno a

altas temperaturas y presionados en presencia de un catalizador. El nitrógeno es obtenido por aire licuado, y el hidrógeno es obtenido por descomposición de gas natural. Debido a que el gas natural es coproducto de la producción de aceite, muchas refinerías de aceite usan este gas natural para producir amoniaco.

El amoniaco está comercialmente disponible en cuatro formas: anhidro amoniaco, el cual es comúnmente almacenado y transportado como un líquido en envases de presión; acua amoniaco, más comúnmente de 20 a 30 por ciento de solución de amoniaco en agua deionizada o suavizada; sulfato de amonio y cloruro de amonio, ambos vienen en forma granular. El anhidro amoniaco es la forma menos cara para comprar, pero requiere tanques de almacenaje presurizados los cuales están relativamente caros. El acua amoniaco es más caro que el anterior, pero los tanques son un poco menos caros. Debido a que el acua amoniaco debe de ser almacenado en tanque de baja presión, es menos peligroso el manejo que el anhidro amoniaco. Además el equipo de alimentación del acua amoniaco es menos caro que los alimentadores de anhidro amoniaco.

Las sales de amoniaco son las formas más caras. El sulfato de amoniaco y el cloruro de amoniaco pueden ser almacenados y vendidos en tanques de baja presión. Para almacenajes gruesos y largas distancias de venta, los costos más bajos de venta y de manejo del anhidro amoniaco mas concentrado compensan los envases de presión caros que requieren.

Para grandes volúmenes de venta el anhidro amoniaco es normalmente vendido en carro tanque de ferrocarril de 80 toneladas, de 25 toneladas, y trailers tanques de 20 toneladas. Las ventas más chicas incluyen cilindros de 50, 100 y 150 lb y tanques portátiles de 1730 lb (625 gal), un tamaño popular para aplicaciones agrícolas. Otro tamaño popular es un tanque de 1000 gal (4600 lb), un común artículo de venta.

Los tanques de almacenaje del anhidro amoniaco pueden ser fabricados de cualquier tamaño. Ellos van a tener las mismas restricciones de presión que los contenedores que se utilizan para su venta, y son usualmente hechos de acero al carbón. Los tanques deben de estar protegidos del sol para prevenir las presiones excesivas y/o ventilación a la atmósfera de vapor de amoniaco.

El agua amoníaco no es comúnmente vendido a distancias largas, por lo tanto los más grandes envases de transportación comúnmente usados es un tanque trailer de 7500 gal (aproximadamente 25 toneladas) y se aplican las mismas restricciones en la fabricación que los tanques anteriores. Dependiendo de la concentración de agua amoníaco, una temperatura excesiva ($>38^{\circ}\text{C}$) va a causar vapor de amoníaco que saldrá de la solución y ejercerá presión de vapor. Si una alta concentración de agua amoníaco es almacenada (esto último debe de ser considerado en el diseño) una ligera presión del tanque de almacenaje con respiradero de alivio y una trampa de agua puede llegar a ser necesario.

El amoníaco es un muy peligroso material para manejarlo. La exposición a altas concentraciones de amoníaco puede ser fatal. Este efecto del amoníaco combinado con su gran solubilidad, la cual resulta en una severa corrosión de las membranas mucosas que se encuentren en contacto con el vapor de amoníaco. Se debe de proporcionar al personal quien trabaja regularmente con el amoníaco con equipo de seguridad.

III.9.1 ALIMENTACIÓN CON AMONIACO

El método de aplicación del amoníaco a la corriente del proceso va a depender del tipo de amoníaco almacenado, la velocidad de flujo del amoníaco y la presión del agua a ser tratada en el punto de aplicación del amoníaco.

El anhídrido amoníaco puede ser alimentado directamente como un gas dentro del flujo del agua o puede ser diluido con agua de acarreo hacia el eductor (inyector) y aplicado en solución dentro de la corriente de proceso. Dos métodos comercialmente disponibles de la aplicación del anhídrido amoníaco, alimentación directa y amoniacadores tipo solución. En la fig. 3-11 se encuentra un sistema amoniacador con alimentación directa de gas y almacenaje de anhídrido amoníaco y en la fig. 3-12 se encuentra un sistema amoniacador con alimentación de solución y almacenaje de anhídrido amoníaco.

El agua amoníaco puede ser alimentado a la corriente del proceso de manera muy simple por una bomba (con diafragma de desplazamiento positivo o cavidad de tipo progresiva). El amoníaco ya se encuentra en solución cuando es liberado y el líquido

deberá ser transferido al agua que va ser tratada. En la fig. 3-13 se encuentra un sistema amoniacador con alimentación y almacenaje de acua amoniaco.

Debido a que es relativamente bajo el flujo del amoniaco con relación al proceso de flujo, se debe tomar el cuidado de asegurar que el amoniaco va ser difundido correctamente previo a la aplicación de cloro. Esto puede requerir que el punto de inyección del amoniaco debe de estar río arriba de la aplicación del punto de cloro o que haya un adecuado mezclado si se presenta en el punto de aplicación del cloro río abajo, en una corta distancia.

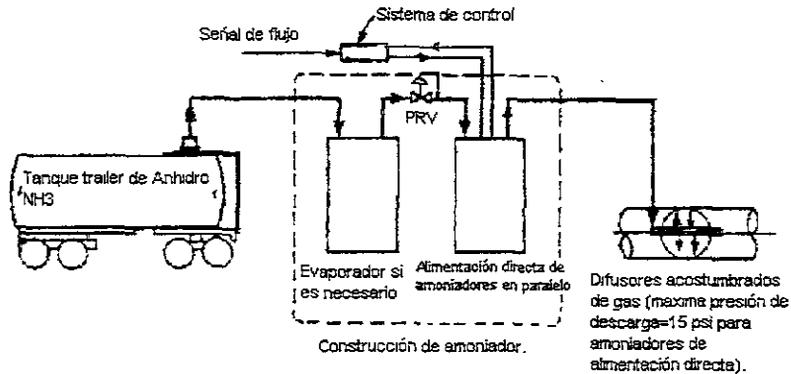


FIGURA 3.11. Sistema amoniacador. Alimentación directa de gas; almacenaje de anhidro.

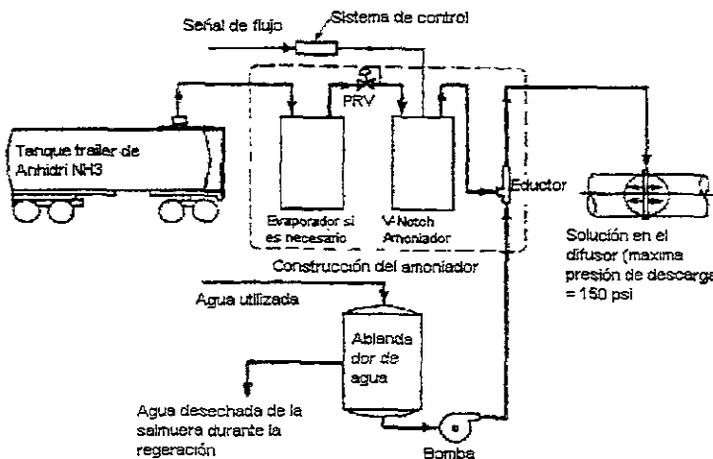


FIGURA 3.12. . Sistema amoniacador. Alimentación de solución; almacenaje de anhidro.

Todo los materiales de tubería y alimentación usados para acarrear anhídrido o agua amoníaco deben de estar fabricados de acero sin costura cédula 80 o hierro negro. Los difusores deben de ser de acero inoxidable 316. De ninguna manera se deberá utilizar cobre, latón, bronce, o fierro galvanizado, en tuberías o válvulas, para que tengan contacto

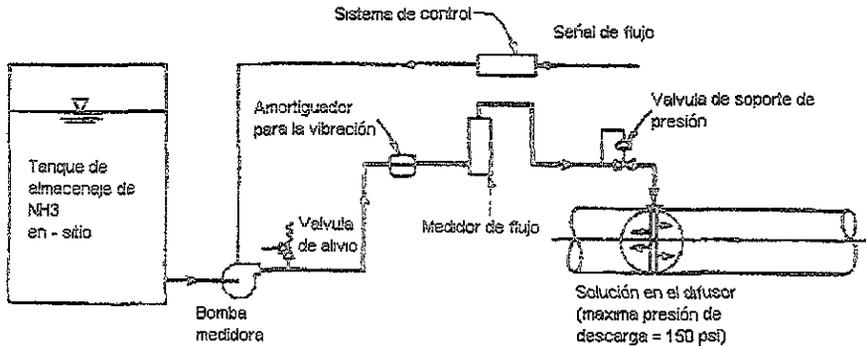


FIGURA 3.13. . Sistema amoníaco. Alimentación y almacenaje de agua amoníaco.

con el amoníaco. El amoníaco húmedo va a corroer el cobre, la plata, el zinc y su mezcla. Las tuberías de PVC pueden ser usadas, pero algo de experiencia ha mostrado que las válvulas de esfera de plástico tienen una tendencia a congelarse o a obstruirse cuando son usadas con agua amoníaco. Alguna reacción química quizá tome lugar con el plástico, y lo que más afecte es el movimiento de las partes. Son preferibles válvulas de hierro o de acero sin costura.

CAPITULO 4

DISEÑO HIDRÁULICO

IV.1 TEORÍA DE CHICK-WATSON

Aunque recientemente en un convenio de trabajo se ha hecho un modelo de desinfección, la principal teoría de desinfección usada hoy es todavía, como ya se mencionó el modelo de Chick o el modelo de Chick-Watson. La ley de Chick (1908) expresa la razón de destrucción de microorganismos por la relación de una reacción química de primer orden:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt$$

Donde N = número de organismos presentes en el tiempo t

N_0 = número de organismos presentes en el tiempo 0

k = característica constante de razón del tipo de desinfectante, microorganismos, y aspectos de la calidad del agua del sistema

t = tiempo

Watson (1908), utilizando datos de Chick, refino la ecuación que produce una relación empírica que incluye cambios en la concentración del desinfectante.

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = -\Lambda C^n t$$

Donde C = concentración del desinfectante

Λ = coeficiente de mortandad específico

n = coeficiente de dilución

El valor de n en la ecuación de Chick-Watson depende del desinfectante y el valor de pH. Este es usualmente cercano a la unidad.

La figura 4-1 ilustra datos de desinfección de poliovirus por bromo, los cuales están bien representados por las relaciones de Chick-Watson, donde el ritmo de la razón de supervivencia (N/N_0) se traza como una línea derecha contra el tiempo.

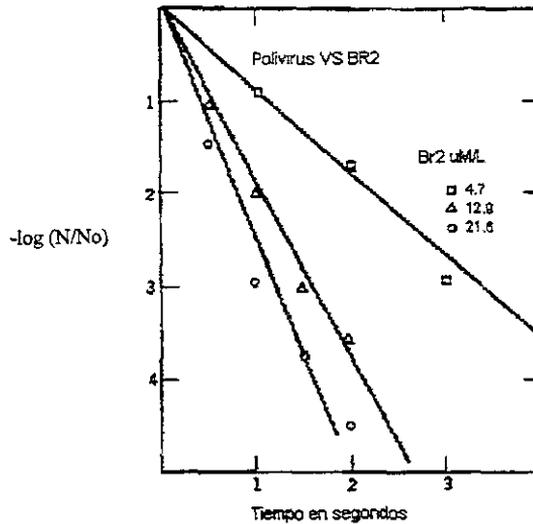


FIGURA 4.1. Ejemplo lineal de datos de desinfección.

El coeficiente Λ es un coeficiente de mortandad específico que representa la relativa potencia del desinfectante a una unidad de concentración para una unidad de tiempo. La simplificación que $n = 1.0$ y la presunción que Λ es una constante para un reactivo dado y organismos a una temperatura especificada, son utilizados para establecer el valor del coeficiente. El cuadro 4-1 muestra el coeficiente de mortandad específico para varios desinfectantes con respecto a las especies particulares de bacterias, virus, y quistes para un 99 por ciento de inactivación a un pH cercano a 7.0 y 20°C.

El concepto de mortandad específico se ilustra en la fig. 4-2, la cual muestra la relación concentración contra tiempo para cloro (como HOCL) y varios tipos de organismos. La figura muestra la diferencial capacidad del cloro para destruir diferentes tipos de organismos. Estos valores sirven sólo como un indicio crudo de la relativa

mortandad de estos agentes debido a que existen muchas variables en los experimentos de desinfección que hacen difícil comparar resultados.

CUADRO 4.1

Desinfectante	E. coli Bacteria	Poliovirus	<i>Entamoeba histolítica</i> Quistes
O ₃	2300	920	3.1
HOCl	120	4.6	0.23
ClO ₂	16	2.4	—
OCl ⁻	5.0	0.44	—
NHCl ₂	0.84	0.00092	—
NH ₂ Cl	0.12	0.014	—

El cuadro 4-1 indica que el más efectivo desinfectante es el ozono, seguido por ácidos hipocloroso, bióxido de cloro, ion hipoclorito, y las cloraminas. Esta se generaliza para la mayoría de los tipos de microorganismos. También, la mortandad específica muestra que la bacteria entérica (intestinal) es más fácil de eliminar que lo virus y que los quistes que son particularmente resistentes.

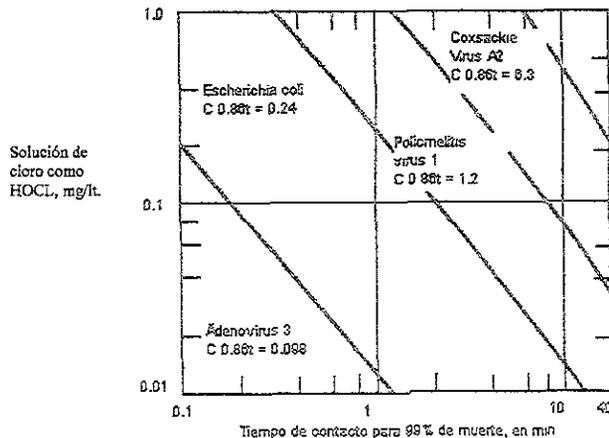


FIGURA 4.2. Relación para el cloro tiempo - concentración.

Otro método frecuentemente empleado para comparar los desinfectantes utiliza gráficas de residual contra el tiempo para un nivel especificado de muerte, usualmente 99%. De la curva de supervivencia, el 99 por ciento de los puntos de inactivación son extrapolados para dar el tiempo necesario para 99 por ciento de destrucción de organismos.

IV.2 DISEÑO DE LAS INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN POR CONTACTO

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales son diseñadas y evaluadas de acuerdo a las características de dispersión de sus tanques de contacto. Desgraciadamente esto no se ha puesto en práctica en el campo del tratamiento del agua potable. El diseño de las instalaciones para la desinfección primaria del agua, debe de tomar ventaja de alguno de los principios del diseño desarrollado en el campo del tratamiento del agua residual.

La ejecución del proceso de desinfección esta substancialmente afectado por la hidráulica durante la mezcla inicial del desinfectante y el agua que va a ser tratada en la subsecuente cámara de contacto. Sin embargo los mecanismos de estos procesos son necesarios que estén bien comprendidos.

La dispersión rápida del químico, particularmente con halógenos, a través de la mezcla turbulenta aumenta la desinfección de microorganismos con tal de que la transportación signifique permitir al material agregado llegar a todas las partes del agua. Los dispositivos para proporcionar grados variables de condiciones de mezcla para lograr la desinfección química, son las cámaras de mezclado con bombas, deflectores y saltos hidráulicos.

Evaluar la geometría del diseño de las instalaciones de desinfección por contacto, es importante debido a que el efecto de la reacción entre el organismo y el desinfectante particularmente para reacciones relativamente lentas es afectado por la geometría. Algunas veces el diseño de cámaras de contacto es evaluado basándose en reglas de modo empírico con determinación del funcionamiento verdadero sólo después de la construcción.

Una base completamente racional para el diseño de la cámara de contacto requiere una relación entre la cinética de la reacción de la desinfección y la distribución de tiempos residuales así como un medio de estimación de la distribución de los tiempos residuales para un diseño de una cámara de contacto propuesta.

Esta sección presenta la forma y naturaleza de estas relaciones y su desarrollo de las mismas, a los grados posibles que presenta el tiempo basado en los primeros trabajos de Trussell y Chao (1977). La configuración general de las instalaciones de contacto para el cloro, bióxido de cloro y ozono, está dirigida asumiendo un manejo adecuado de los efectos de otros aspectos importantes en el diseño tal como mezcla inicial, el diseño de la entrada y salida, etc.

IV.2.1 RELACIÓN DE LA DESINFECCIÓN

Coolins y Seleck (1972) desarrollaron una expresión cinética general para el efecto de la combinación de cloro residual con coliformes fecales y totales. Debido a la aplicabilidad y la fiabilidad de este modelo a varios desinfectantes estas expresiones se utilizarán en la discusión restante.

IV.2.2 DISPERSIÓN

Flujo de Entrada. Varios parámetros han sido utilizados para evaluar la eficiencia hidráulica de los tanques de contacto de cloro. Marske y Boyle (1973) encontraron que el más reproducible de ellos es el número de dispersión, la fig. 4-3 muestra la forma de las curvas pintadas que quizá emanen de un recipiente el cual se representa con una línea punteada.

Las curvas representan varios valores del número de dispersión que ilustran su significado. Conforme el número de dispersión en un reactor decrece, el reactor se acerca más rápidamente a un flujo de entrada perfecto. Un flujo de entrada perfecto tiene un número de dispersión de cero. Como se indicó por Marske y Boyle (1973), de cualquier manera, el número de dispersión para un reactor dado bajo condiciones dadas es

reproducibles debido a que es derivado de la curva pintada entera no solo de uno o dos puntos.

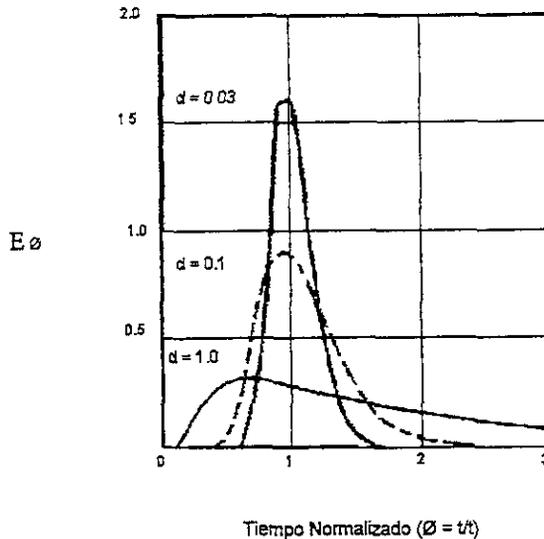


FIGURA 4.3. Frecuencia distribución de edades contra número de dispersión.

El número de dispersión es también más valioso desde el punto de vista de la cinética química. Para un tipo de reactor dado, las relaciones matemáticas pueden ser desarrolladas para describir la conclusión de una reacción dando el número de dispersión y la ecuación de la reacción de la cinética básica.

Sólo es posible obtener una expresión analítica precisa para la curva pintada (distribución de frecuencias de edades) para el caso de un tanque abierto donde se supone que el flujo es uniforme en la entrada y la salida del tanque de contacto. En el sentido estricto un tanque de contacto de cloro no conoce este criterio; sin embargo, desde que los tanques de contacto de cloro son diseñados para minimizar la turbulencia en el influente y el efluente, la fórmula de tanque abierto puede comprobarse satisfactoriamente. Tal como la desarrollaron Levenspiel y Smith (1957), esta fórmula es la siguiente:

$$E_{\theta} = \frac{1}{\sqrt{4\pi\theta d}} \exp\left[-\frac{(1-\theta)^2}{4\theta d}\right]$$

Donde d = número de dispersión
 θ = tiempo de contacto normalizado (V/V^*)
 V^* = tiempo de retención hidráulico, min. (V/Q)

Así, ahora se dispone, de una expresión que relaciona el número de dispersión y la curva pintada en el tanque, está ecuación describe la curva pintada mostrada en la fig. 4-3.

Al generar la curva de dispersión típicamente se lleva a cabo el estudio de un indicador. Un indicador es inyectado a la entrada y la salida del tanque y monitoreado al finalizar el tiempo. El indicador seleccionado no debe presentar efectos de salud adversa, debe ser un químico que no este ya presente en el agua y que convenga al análisis.

Las sales de litio particularmente el cloruro de litio, son indicadores que cumplen con estos requerimientos. La prueba del indicador que aparece en la fig. 4-4 fue generada después de la adición de cloruro de litio como un pulso a la entrada de un tanque de contacto de cloro en forma de serpentín. Muestras de las salidas del tanque se reunieron en intervalos aproximados de 7 minutos y fueron analizados para litio por absorción atómica. De la información proporcionada por la prueba del indicador el número de dispersión fue calculado de la ecuación de la fórmula de tanque abierto (anterior).

Como se indicó antes también es posible desarrollar una relación entre la curva pintada de distribución de frecuencia de edades y la conclusión de una reacción química dada. En el desarrollo de esta relación, se debe de tomar en cuenta, el grado de segregación entre componentes de la reacción. La desinfección bacterial es un excelente ejemplo de un sistema que puede ser tratado con un modelo segregado donde agregados de moléculas viajarían juntas durante su estancia en el reactor. Usando el concepto de un sistema segregado, la fracción de bacteria remanente después de la reacción va a ser la suma de la cantidad de reacciones de todas las pequeñas agregadas.

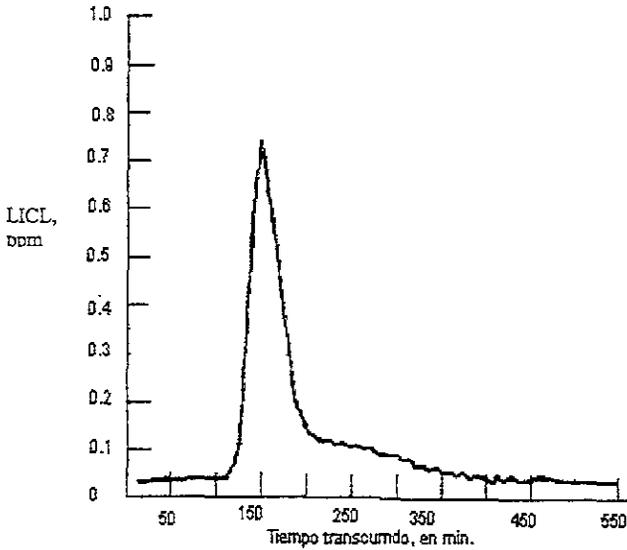


FIGURA 4.4. Prueba de indicación del cloruro de litio (número de dispersión: 0.04).

De este modo, dando el coeficiente ambiental o tiempo de inducción, τ , el tiempo de contacto y el cloro residual inicial, deberá ser posible mostrar la relación entre la proporción sobreviviente del total de coliformes fecales y la dispersión. La fig. 4-5 muestra, la relación para varios residuales de cloro y un tiempo de contacto de una hora con coliformes totales del efluente secundario.

Debe notarse que ese pequeño beneficio es derivado del intento de llevar el número de dispersión debajo de 0.01. Aproximadamente un 60% de incremento en la mortandad, se realizará por llevar la dispersión de 0.1 a 0.01, mientras que el incremento en mortandad entre 0.01 y 0.001 es solo de un 5 o 6%. Para números de dispersión por debajo de 0.1 parece que la influencia de la dispersión en la cámara de contacto es relativamente menor comparada a la influencia del cloro residual.

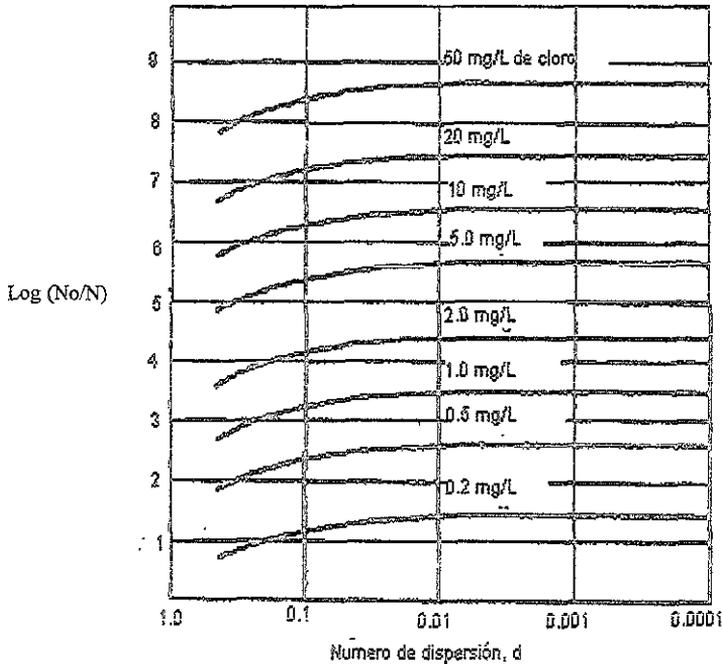


FIGURA 4.5. Dispersión y reducción de coliformes totales por el cloro combinado (tiempo de contacto 60 min).

IV.2.3 TANQUE COMPLETAMENTE AGITADO (COMPARACION CON EL OZONO)

La reacción extremadamente rápida de desinfección por ozono crea dificultades al intentar trasladar información experimental directamente en la práctica del diseño, a diferencia del cloro, el ozono no forma un residual duradero. Como resultado, el pronóstico de la desinfección realizada requiere una vigorosa predicción de los cambios en la magnitud del ozono residual como una función del tiempo. Sería relativamente difícil realizar un pronóstico tal para el agua libre de contaminantes orgánicos y para aguas naturales la tarea es casi imposible.

Otra dificultad es el monitoreo adecuado del ozono residual. Debido a que el ozono es muy reactivo su residual está siempre en un estado de cambio y esto hace que el

monitoreo del residual sea difícil. La dificultad final es la complejidad de la distribución de tiempos de residencia en la contracorriente fase tres del reactor en la configuración más usualmente encontrada.

Como se mostró con anterioridad existe la ecuación que predice la función de un reactor contracorriente de dos fases si la distribución del tiempo de residencia es conocida. Sin embargo, debido a que el ozono es un gas generalmente se emplea un reactor de configuración contracorriente y esto hace que la aplicación de la ecuaciones sea muy difícil.

Para desarrollar un modelo de una típica cámara de contacto son necesarias dos suposiciones: la cámara se comporta como un tanque reactor completamente agitado y dos, el ozono residual presente durante el proceso puede ser aproximado a uno y medio del residual en el efluente. Si se hacen estas suposiciones entonces la fórmula de Selleck puede ser usada para representar la reacción de la desinfección, y la ecuación de dispersión CSTR puede ser usada como la frecuencia de distribución de años normalizada, y combinada con la ecuación de la fracción de bacteria remanente después de la reacción se puede desarrollar una relación para desinfección de coliformes en cascadas de tanques agitados.

IV.2.4 DISEÑO DE LA CAMARA

Hoy en día se usan muchas formas de diseño de cámaras de contacto entre éstas están la de tubería, tanques con deflectores, tanques estables, tanques circulares y anillos anulares alrededor de clarificadores secundarios. Los números de dispersión pueden ser estimados por la longitud de la tubería y pueden ser desarrollados con algunos grados de fiabilidad. Un método ordinario puede usarse para estimar la dispersión en canales largos.

IV.2.5 LONGITUD DE LAS TUBERIAS

La dispersión axial en el flujo de la tubería es el caso más claro que va a ser considerado. Taylor (1954) mostró que el coeficiente de dispersión longitudinal (D_L) puede ser descrito por la siguiente fórmula.

$$D_L = 5.05DU_* \quad (1)$$

En la fórmula de arriba U_* es la fricción de velocidad en una tubería de diámetro D y puede ser definido en términos de la velocidad de flujo, U y el factor de fricción de Darcy-Weisbach, f ,

$$U_* = \sqrt{\frac{fU^2}{8}} \quad (2)$$

El número de dispersión está definido en términos de un coeficiente de dispersión longitudinal, la velocidad del flujo, y una longitud característica en este caso la longitud de la tubería:

$$d = \frac{D_L}{UL} \quad (3)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2) resulta en una fórmula que describe la dispersión del flujo en una tubería.

$$d = 5.50 \left(\frac{D}{L} \right) \sqrt{\frac{f}{8}} \quad (4)$$

Sjenitzer (1958) juntó un gran número de mediciones en el laboratorio y en el campo las correlacionó para producir la siguiente expresión empírica:

$$d = 89500 f^{3.6} \left(\frac{D}{L} \right)^{0.859} \quad (5)$$

Esta relación, sin embargo es sólo precisa para una tubería larga sin curvas, restricciones, u otros flujos turbulentos.

IV.2.6 TUBERÍAS DE GAS CLORO

Entre el clorador y el inyector, el gas cloro fluye en un vacío. Aunque la pérdida de flujo de gas es bastante pequeña, es crítico que el vacío creado por el inyector sea

transmitido al clorador sin una disipación significativa. En consecuencia, el diámetro de las tuberías de vacío de cloro, es mejor que sea diseñado correctamente, que seleccionado arbitrariamente. El siguiente análisis está basado en el trabajo de White.

De acuerdo a White, las tuberías deben ser de tamaño que el límite de la caída de presión total de la longitud de la tubería se encuentre entre 1.5 y 1.75 de pulgadas de mercurio por debajo de los máximos niveles de inyección de vacío (22 a 23 pulgadas de mercurio). La fórmula que se encuentra a continuación puede ser usada para estimar la caída de presión:

$$P = \frac{11.89LfW^2}{10^9 pd^5} \quad (6)$$

donde: P = caída de presión total, pulgadas de mercurio.
 L = longitud de la línea, en pies.
 W = flujo del cloro, lb/día.
 P = densidad del cloro, lb/ft³.
 D = diámetro interior de la tubería, pulgadas.

La densidad del cloro puede ser estimada de la fig. 4-6 si la presión y temperaturas son conocidas. Para las líneas de PVC, el factor fricción puede ser estimado de la siguiente fórmula una vez que el número de Reynold's es determinado:

$$\log f = 1.75 - 0.722 \log N_{re}$$

El número de Reynold's puede ser estimado por la siguiente fórmula:

$$N_{re} = \frac{0.263W}{ud}$$

donde: u = viscosidad de gas, cP.
 d = diámetro interior de la tubería, pulgadas.

En un rango de temperatura de 40 a 60°, la viscosidad puede ser estimada por la siguiente fórmula:

$$u = 0.0115 + 0.00003T(^{\circ}F)$$

El procedimiento de diseño es seleccionar las dimensiones de la tubería y calcular la caída de presión. Si la caída es muy grande, entonces una tubería de un diámetro más grande se deberá de escoger.

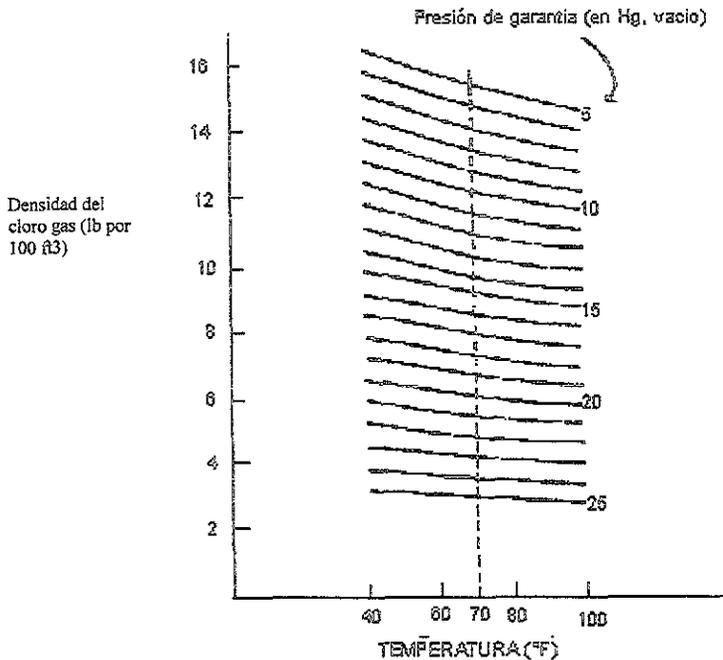


FIGURA 4.6. Densidad del gas cloro por debajo del vacío.

IV.2.7 LONGITUD DE LOS CANALES

Aunque no se han hecho trabajos en dispersión longitudinal de flujo en canal abierto en transportaciones estrechas, se han grabado estudios extensivos concernientes a la dispersión del flujo en canal abierto. La mayoría de los modelos desarrollados para el coeficiente de dispersión y este tipo de flujo han sido desarrollados de la siguiente forma de la ecuación de Taylor:

$$D_L = CR_h U_* \quad (7)$$

Donde : R_h = radio hidráulico
 U_* = velocidad de fricción
 C = un coeficiente

Combinada con la ecuación (3) esta relación lleva a la fórmula para el número de dispersión dado abajo:

$$d = \frac{CR_h U_*}{UL} \quad (8)$$

Como fue observado por Graber (1972), el coeficiente C es una función de la geometría del canal y el número de Reynolds. Para transportaciones estrechas la geometría del canal llega a ser muy significativa. En el trabajo citado arriba en los canales abiertos fueron consideradas dos dimensiones debiendo esto a su larga relación anchura-radio de profundidad.

Elder (1959) desarrolló un modelo que fue aplicado al concepto de dispersión longitudinal a un perfil de velocidad logarítmica, de Taylor. La fórmula para C que corresponde a este modelo se muestra abajo:

$$C = \frac{0.404}{K^3} + \frac{K}{6} \quad (9)$$

donde k es el coeficiente de turbulencia de von Karman y generalmente se asume que tiene un valor de aproximadamente 0.4. Bajo estas circunstancias, el valor correspondiente de C deberá ser 5.9.

Para flujo uniforme en un canal abierto la velocidad de fricción, U_* quizá este definido como sigue:

$$U_* = \frac{3.82nU}{Rh^{\frac{1}{6}}} \quad (10)$$

(n = coeficiente de Manning)

Combinando las ecuaciones (8) y la (10), la fórmula ordinaria siguiente para el número de dispersión en un canal largo es obtenida:

$$d = \frac{3.82nU}{Rh^{\frac{1}{6}}} \quad (11)$$

Dados ciertos coeficientes de geometría del canal, la ecuación (11) puede reescribirse para describir la dispersión usando el volumen del canal dado.

$$\alpha = H / W$$

$$\beta = L / W$$

$$v = \text{volumen_del_canal, ft}^3$$

Entonces

$$d = 22.7 \frac{n}{\beta} \left(\frac{\alpha}{2\alpha + 1} \right)^{\frac{5}{6}} \left(\frac{\alpha\beta}{v} \right)^{1/18} \quad (12)$$

La ecuación (12) no es muy susceptible a α o v , y para la mayoría de los tanques de concreto, la siguiente forma abreviada es satisfactoria:

$$d = \frac{0.14}{\beta} \quad (13)$$

En añadidura a la falta de desarrollo teórico que conduce a la ecuación (12) y algunas otras consideraciones que conducen a errores. Un coeficiente de corrección de error K se puede usar para describir esas desviaciones de la siguiente manera:

$$d = \frac{0.14K}{\beta} \quad (14)$$

La figura 4-7 muestra un gráfico de la ecuación (14) en relación con los datos del campo de escala llena con valores de K de 1, 5 y 15. Esto sugiere que los diseños conservadores deberán asumir un coeficiente de corrección de error de 15. Sin embargo, parece que la corrección de error puede ser reducida a valores tan bajos como 3-5 para un buen diseño hidráulico.

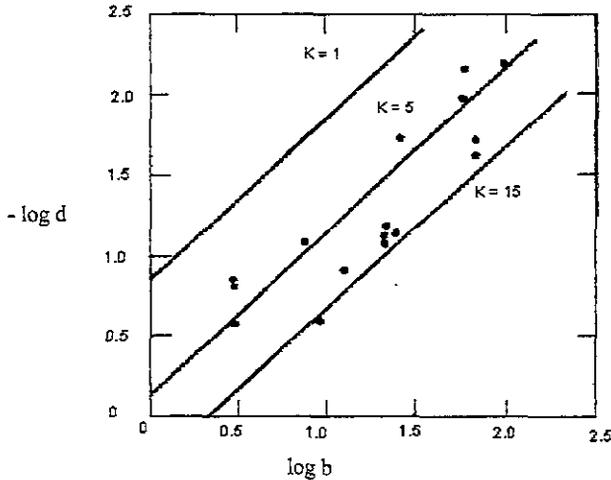


FIGURA 4.7. Log de radio de longitud a ancho contra log de número de dispersión.

IV.3 MEZCLADO

En 1970, el trabajo de Collins sobre una planta piloto, demostró la importancia de mezclar rápidamente el cloro en el agua de tratamiento. Este trabajo mostró que la diferencia entre un sistema de mezcla de fluido con entrada en un régimen turbulento y un sistema de mezcla anterior con circuitos cortos era aproximadamente de una reducción de dos heces en la concentración de organismos coliformes.

El aparato eléctrico de mezcla de fluido que se usó fue un reactor tubular con una intensidad de turbulencia representada en un número Reynolds de 10,000. Experiencia subsecuente en operación de planta ha confirmado la relevancia de una correcta mezcla en el punto de la aplicación del cloro. La optimización de mezclar el cloro con el agua de desecho se hace más crítica cuando se requieren reducciones confiables de coliformes u otros microorganismos.

Uno de los objetivos de una mezcla adecuada es realizar la desinfección por medio de la reacción del cloro libre en el arroyo de la solución de cloro lo más rápido posible con el nitrógeno de amonio para formar monocloraminas, y evitar pendientes prolongados de concentración de cloro que pueden provocar la formación de otros compuestos clorados con poca o ninguna eficacia germicida. Idealmente, el dispositivo mezclador debe lograr la mezcla completa del cloro y del arroyo de agua de desecho en fracción de segundos.

Otra razón que avala un adecuado régimen de mezcla es convertir lo más rápido posible el cloro molecular en la solución de cloro del arroyo en HOCl. El derrame de la solución de cloro de un equipo convencional de cloración tiene un pH aproximado de 2. En este pH a 2000 mg/L, la solución de cloro puede contener hasta un 38% de cloro molecular en una presión atmosférica.

En un sistema adecuado de mezcla, la conversión de cloro molecular al HOCl ocurrirá en pocos segundos. Esto minimiza el potencial de exhalaciones de gas cloro en el difusor en el caso de que el difusor experimente una presión hidráulica negativa. La mezcla adecuada, sin embargo, no corregirá los defectos en el diseño del difusor.

IV.3.1 GRADIENTE DE VELOCIDAD MEDIA (PROMEDIO)

El gradiente de velocidad media (G) se ha usado para cuantificar la intensidad de la mezcla. Se han realizado intentos para designar valores numéricos de G tiempo del mezclado tiempo para obtener niveles suficientes de intensidad de mezcla para propósitos de desinfección. La pendiente de velocidad media para mezcladores mecánicos se representa de la siguiente manera:

$$G = (P/uV)^{1/2}$$

- Donde:
- G = pendiente de velocidad media, s^{-1}
 - P = requerimiento de poder, N^*m/s (ft.lb/seg)
 - V = volumen del depósito de mezcla, m^3 (cu ft), y
 - U = viscosidad absoluta, N^*s/m^2 (lb-seg/metro o pie cuadrado)

Para optimizar la mezcla para desinfección, se recomienda un valor G mayor de 500.

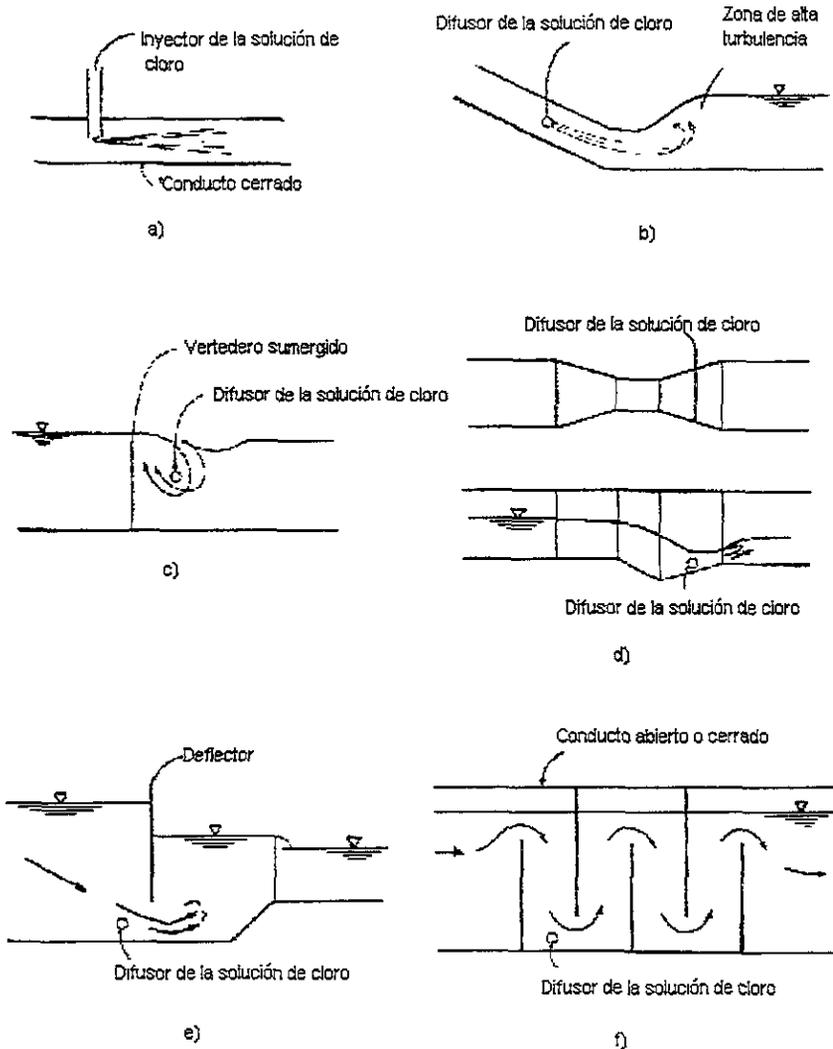


FIGURA 4.8. Método de mezclado de soluciones de cloro con agua residual utilizando la turbulencia del régimen de flujo: a) tubería; b) salto hidráulico; c) vertedero sumergido; d) canal de aforo Parshall; e) bajo deflector; f) deflectores múltiples.

IV.3.2 CONDUCTOS CERRADOS

Se puede lograr una mezcla adecuada en un conducto cerrado con flujo turbulento colocando el difusor de cloro en el centro de la sección del campo de flujo del conducto. El gradiente de velocidad media para los contactos de conductos cerrados se pueden determinar usando la relación para la pendiente de velocidad media para mezcladores mecánicos en donde el requerimiento de poder, P , se determine de la siguiente manera:

$$P = p h q$$

Donde: P = densidad de agua de desecho, lb/cu ft,

h = pérdidas en la sección de contacto del conducto cerrado, ft. y

q = la tasa de flujo del conducto cerrado, cu ft/seg.

IV.3.3 DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS

Se ha descubierto que el salto hidráulico es un buen mecanismo de mezcla. El difusor de cloro se puede colocar aguas arriba de la zona turbulenta creada por el salto hidráulico, o se puede localizar directamente en la zona de turbulencia. La desventaja de colocarlo en esta última es que la zona cambia de posición cuando el flujo se modifica. El significado práctico del efecto de la zona de cambio en la eficacia de desinfección es desconocido.

Cuando se utiliza el salto hidráulico, la sumergencia del difusor no debe estar a menos de 230 mm (9 pulgadas) abajo del nivel del agua de la superficie en un flujo mínimo. Probablemente, el salto hidráulico es un mecanismo de mezcla efectivo cuando incurre en una pérdida de presión 0.3 a 0.6 (1 a 2 pies).

El canal Parshall produce un salto hidráulico y puede ser utilizado para dar una mezcla satisfactoria para algunas aplicaciones. Una planta de tratamiento examinada por White tenía el difusor instalado en una sección el canal abierto inmediatamente aguas arriba del canal Parshall con un régimen extremadamente turbulento. La situación del difusor y la velocidad a un flujo promedio lograron una muy buena mezcla en un lapso de 4 a 5 segundos. Además, los resultados de desinfección obtenidos para esta planta de tratamiento indicaron que en esta instancia en particular existía una mezcla superior.

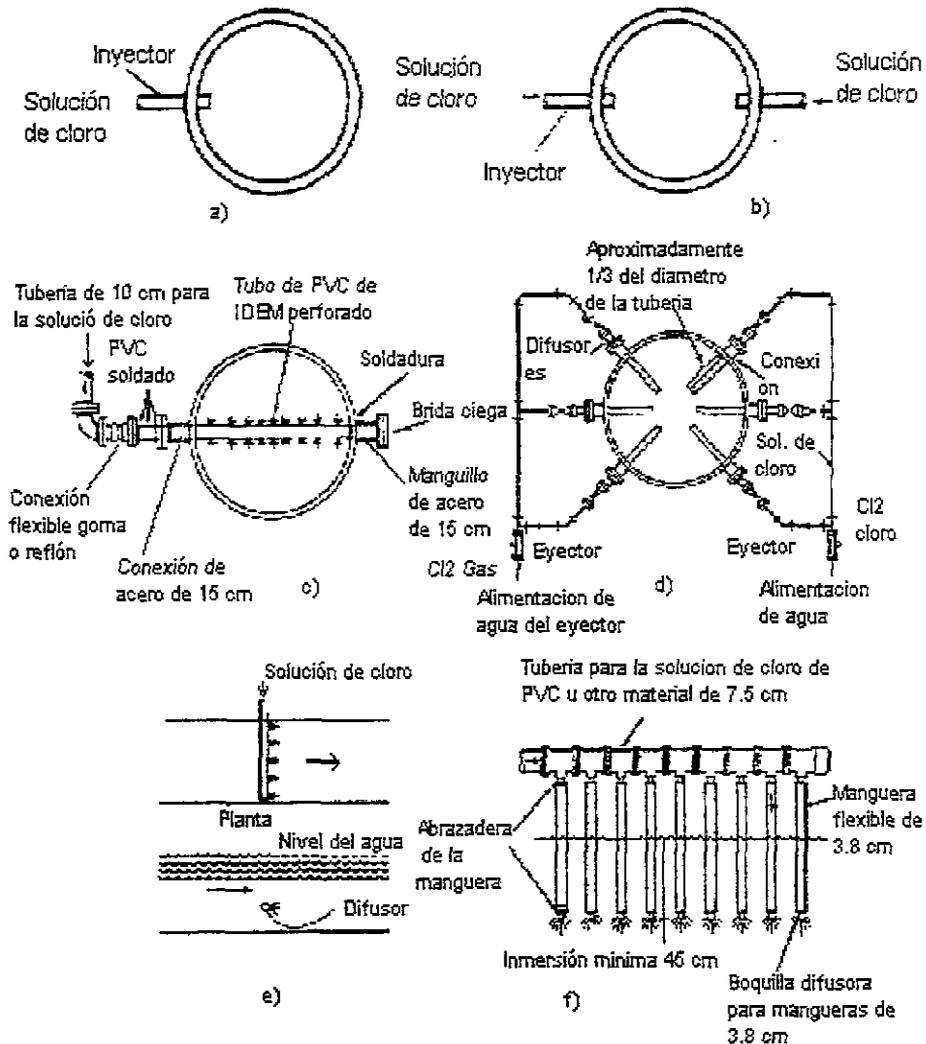


FIGURA 4.9. Difusores típicos utilizados para inyectar soluciones de cloro; a) inyector simple para tubería de pequeño diámetro; b) inyector doble para tubería de pequeño diámetro; c) difusor a través del tubo para tubería de diámetro superior a 0.9 m, d) sistema difusor para conductos de gran diámetro, e) difusor simple a través del canal; f) difusor del tipo de boquillas suspendidas para canales abiertos.

IV.3.4 DISPOSITIVOS COMERCIALES

Se han desarrollado dispositivos patentados de mezcla de cloro que están disponibles comercialmente. Típicamente, se bombea una pequeña porción del flujo del agua residual a través de un inyector o un difusor dentro de una sección inicial de contacto. Las especificaciones relacionadas con estos dispositivos comerciales se pueden obtener directamente con los fabricantes.

IV.4 CONTACTO

El contacto, un proceso separado al de la mezcla, se ha descrito extensamente. Ambos procesos son necesarios para una óptima desinfección, y ninguno de los dos puede sustituirse por el otro. El objetivo del proceso de contacto es mejorar la inactividad de microorganismos con el proceso de desinfección. Este objetivo se logra manteniendo los microorganismos en el flujo del agua residual en estrecho contacto con el cloro por un período específico de tiempo de contacto.

Un dispositivo de contacto de cloro puede, típicamente, tomar la forma de una tubería o de un depósito de forma de serpentín; cualquiera de éstos es satisfactorio siempre y cuando se minimicen los "corto circuitos", que las condiciones del flujo de entrada estén cercanamente accesibles, que las esquinas estén redondeadas para minimizar áreas de flujo muertas, y que la velocidad del flujo de contacto sea lo suficientemente alta para prevenir que se depositen sólidos en la cámara de contacto o en la tubería.

Las cámaras circulares tienden a resultar en una cantidad importante de "cortos circuitos" y, por lo tanto, no deben usarse para contacto de cloro. La razón directa de la longitud del camino de flujo a la anchura del canal en tanques de forma serpentina debe ser aproximadamente 50 o mayor, y la razón de la altura a la anchura de la sección humedecida no debe exceder de 2:1. Se puede usar un deflector ya sea horizontal o vertical para incrementar la proporción efectiva entre longitud y anchura de un sistema de contacto; sin embargo, se debe de tener cuidado para asegurar que la colocación de los deflectores no cree áreas de flujo muerto.

Los dispositivos de contacto de cloro deben evaluarse usando un rastreador como la sal o el tinte para determinar sus características de flujo. Si el dispositivo (tubería o tanque) tiene características pobres en cuanto a entrada de flujo, debe ser modificado para poder lograr condiciones más favorables. Para determinar el grado de flujo de entrada se pueden usar los siguientes parámetros: proporción entre modo de tiempo y tiempo medio, el índice Morrill, y el tiempo medio de residencia.

Al describir un reactor de flujo de entrada, Levenspiel aseveró que la composición del fluido varía de posición a posición en un camino de flujo. Consecuentemente, debe hacerse el balance material para la reacción de un componente para un elemento diferencial del volumen. Por lo tanto:

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Desaparición por reacción}$$

Un corto circuito en un recipiente se puede caracterizar con la siguiente expresión: entre más pequeño el cociente, mayor el grado del corto circuito:

$$t_{\text{modo}}/t_{\text{medio}} < 1$$

Donde:

t_{modo} = el tiempo de la salida del flujo de la curva rastreadora después de la inyección de un rastreador al influjo de un recipiente, y

t_{medio} = el tiempo medio de la salida del flujo de la curva rastreadora después de la inyección de un rastreador al influjo de un recipiente.

Morrill estudió las características de flujo de cámaras de sedimentación y propuso que se usara la palabra "dispersión" para denominar la diseminación de agua como una función del tiempo delante o detrás de la posición del tiempo que ocuparía en una cámara ideal. Después propuso un índice de dispersión conocido como el Índice Morrill (MI), el cual es el tiempo de un rastreador que fue añadido instantáneamente en la cámara al tiempo que 90% de éste deja la cámara (M90) dividido entre el tiempo cuando el 10% del rastreador deja la cámara (M10). Su expresión matemática es la siguiente:

$$M1 = M90/M10$$

Para un flujo de entrada ideal el $M1$ equivale a uno, y a medida que la mezcla anterior aumenta, se hace mayor de uno. Levenspiel ha descrito el tiempo de paso de un fluido a través de un reactor, un factor que debe conocerse para predecir el comportamiento del flujo del fluido. La técnica de estímulo respuesta da información sobre la edad de distribución de las moléculas en el reactor o saliendo del reactor. Considerando un flujo de estado constante sin cambio de reacción o de densidad:

$$s = V/q$$

Donde:

s = tiempo medio de residencia, h,

q = tasa de flujo, m³/h (cu ft/hr), y

V = volumen, m³ (cu ft).

En la ecuación anterior, s puede ser calificado como tiempo de espera o como tiempo medio de residencia. Una variable sin dimensión, R , puede ser definida para medir el tiempo en unidades de tiempo medio de residencia o de tiempo de espera. Esta variable se expresa de la siguiente manera:

$$R = t/s = q t/V$$

Donde:

t = el tiempo de residencia

La función tiempo - concentración de un rastreador en la salida de un flujo de un reactor en respuesta a una instantánea idealizada o inyección de un rastreador de pulso es una función de R , y está dada por:

$$C/C0 = f(R)$$

Donde:

C = la concentración del rastreador como una función del tiempo de residencia, y

$C0$ = la concentración original del rastreador de entrada.

Se puede obtener información valiosa sobre las características hidráulicas del recipiente trazando C/C_0 como una función de R .

IV.4.1 TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

Como ya se indicó al abordar la discusión teórica, el tiempo de contacto es un factor importante para lograr la eliminación de las bacterias. El tiempo de contacto viene especificado generalmente por la autoridad encargada del control y puede oscilar entre 15 y 30 minutos. Por ejemplo, las *Ten States Standards* afirman que tras un buen mezclado, se proporcionará un periodo mínimo de contacto de 15 minutos para el caudal horario punta o máximo caudal de bombeo, al objeto de realizar una buena desinfección. En las plantas de tratamiento primario el cloro se aplicará con preferencia antes de los tanques de sedimentación.

Directamente a lo que se refiere a la utilización de cloro, se recuerda que al principio de este capítulo se mencionó que al utilizar un reactor de alimentación discontinua cuyo contenido se hallaba bien agitado la reducción de organismos coliformes en un efluente clorado de tratamiento primario puede definirse de forma apropiada por medio de la siguiente relación:

$$N_t/N_0 = (1 + 0.23C_t t)^{-3}$$

donde: N_t = número de organismos coliformes en el tiempo t

N_0 = número de organismos coliformes en el tiempo t_0

C_t = cloro residual total medido amperométricamente en el tiempo t , mg / L

t = tiempo de residencia, min.

IV.5 CONSIDERACIONES DE PROYECTO

Los factores más importantes que han de considerarse en el proyecto de los tanques de cloración son: 1) método de adición de cloro; 2) logro de un buen mezclado 3) evitar la formación cortocircuitos; 4) mantenimiento de la velocidad de transporte de los sólidos, y 5) prever los medios para baypasar el tanque o parte del mismo.

El diseño del tanque de contacto debe de incluir la adición de la solución de cloro a través de un difusor, que puede ser una tubería de caucho o bien de plásticos con agujeros perforados, a través de los cuales dicha solución puede distribuirse uniformemente en el agua residual, o bien puede añadirse directamente a la hélice de un mezclador rápido para su difusión completa e instantánea. Cuando en lugar de emplear medios mecánicos el mezclado se realiza por turbulencia hidráulica, ésta debe mantenerse al menos durante 30 segundos, en el punto de adición de la solución de cloro al agua residual o cerca del mismo.

Dada la importancia del tiempo de contacto, deberá prestarse cuidadosa atención al diseño del tanque de cloración de modo que, como ya se mencionó, al menos un 80-90% del agua residual sea retenida en el tanque durante el tiempo de contacto especificado. Esto puede conseguirse un tanque del tipo de flujo en pistón o bien una serie de tanques interconectados o compartimentos (se recomienda un mínimo de seis). La ventaja de utilizar un tanque de cloración con diversos compartimentos o bien un reactor de flujo en pistón puede evaluarse mediante el análisis relativo a la selección del reactor para el proceso de lodos activados. Si el tiempo de recorrido en el emisario de evacuación, a caudal máximo de proyecto es suficiente para igualar o exceder el tiempo de contacto requerido, entonces puede ser posible eliminar el tanque de cloración.

La razón longitud a ancho (L/W) es al menos 10 a 1 de preferencia 40 a 1 va reducir al mínimo los "cortocircuitos". Los "cortocircuitos" también pueden ser reducidos al mínimo reduciendo la velocidad del agua residual que entra al tanque de contacto. Las parrillas o deflectores similares a los que son usados en los tanques de sedimentación rectangular pueden ser usados para controlar la velocidad de entrada.

La velocidad horizontal, a caudal mínimo, en el tanque deberá ser suficiente para arrastrar los sólidos del fondo, o al menos, proporcionar una deposición mínima de los floculos de lodo que hayan podido escapar del tanque de sedimentación. Las velocidades horizontales deberán ser de 1.5 a 4.5 m/min como mínimo.

Deberá preverse la instalación de un desagüe del tanque de cloración así como la posibilidad de eliminación del lodo depositado mediante la operación manual o por chorro

de agua a presión. Del mismo modo, conviene que haya un by-pass, previéndose una cloración de emergencia del efluente, a menos que se dispongan de varios tanques de cloración.

IV.6 CONTROL DEL EFLUENTE Y MEDIDA MEDIANTE EL NMP

El caudal a la salida del tanque de cloración puede medirse mediante un vertedero triangular o rectangular. Los dispositivos de control de la cloración proporcional al caudal, se hacen funcionar desde esos medidores finales o desde el medidor principal de la planta. La determinación final de la eficiencia de un tanque de cloración debe basarse en muestras analizadas para comprobar el cloro residual y el NMP de organismos coliformes. En el caso de que no hubiese tanque de cloración y se utilizase, en su lugar, el emisario de evacuación para procurar el tiempo de contacto, la muestra puede tomarse en el punto de cloración, retenerse durante el tiempo de detención teórica y determinarse el cloro residual. Seguidamente se elimina el cloro de la muestra y se analiza para averiguar su número de bacterias mediante los procedimientos normales de laboratorio.

CAPITULO 5

DISEÑO ELECTROMECAÁNICO

V.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ALIMENTACIÓN

Una vez determinado el rango de alimentación requerido, se decidirá qué método de alimentación se debe usar. Como se mencionó en el capítulo III, existen dos tipos disponibles, alimentación directa, y alimentación por solución, aunque la mayoría de las aplicaciones requieren el segundo tipo de alimentación. La alimentación directa significa la adición de cloro en forma de gas (bajo presión) directamente al flujo que va a ser tratado. La alimentación por solución significa que el gas (alimentado al vacío) se disuelve en un flujo de agua menor y, la solución resultante se inyecta al flujo que va a ser tratado. La siguiente comparación (cuadro 5.1) nos ayudará a elegir uno de los dos métodos:

CUADRO 5.1. - METODOS DE ALIMENTACIÓN

	ALIMENTACION DE SOLUCION	ALIMENTACION DIRECTA
Capacidad máxima de un solo clorinador:	10,000 lb por 24 horas	300 lb por 24 horas*
Aproximado de presión máxima permitida en el punto de aplicación:	160 psi**	15 psi
Distancia permitida entre el clorinador y el punto de aplicación:	Relativamente sin límite	Limitada
Tipo de medición permitida:	Vacío	Presión
Cloro fácilmente sacado por el difusor en el flujo tratado.	Sí	No

Operación del clorinador afectada por el agua fría en el punto de aplicación:	No	Sí
Clorinador operando abastecimiento de agua requerida:	Sí	No
Flexibilidad máxima dada, como alimentación a múltiples puntos de aplicación	Sí	No
Posibles todos los tipos de control	Sí	No

*Restringido por las limitaciones del difusor de gas

**Dependiendo de la capacidad del clorinador, el uso de bombas de solución generalmente permite la aplicación para vencer presiones más altas.

V.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CONTROL

Una vez determinados el rango de alimentación del clorinador y el método de alimentación, se decidirá el método de control que se usará.

V.2.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL EN LA ALIMENTACIÓN DE GAS CLORO

Existen varias formas para controlar la velocidad de alimentación del cloro, un diseño adecuado del sistema de control para la clorinación es tan importante como cualquier otro aspecto de su diseño. Los métodos que se utilizan en la actualidad son de ajuste manual basados en mediciones periódicas o continuas de flujo o de residual; de acuerdo al ritmo de la velocidad de alimentación por una señal de control la cual varía proporcionalmente a la velocidad de flujo del agua residual (control continuo de alimentación avanzada basado en mediciones continuas de flujo); variando la velocidad de alimentación en respuesta a la señal de control basada en el cloro residual (control de retroalimentación basado en mediciones continuas de residual); y la combinación del ritmo

de flujo y control residual (control de circuito cerrado mixto basado en mediciones continuas de ambos). Cada uno de estos métodos está ilustrado en la fig 5-1. No se muestran los detalles de la manipulación de la señal de control.

V.3 CONTROL DE LA CLORACIÓN

El ritmo de flujo está basado en el concepto de variación de velocidad de alimentación de cloro en proporción a la velocidad de flujo que proporcionará una adecuada cantidad de cloro en alguna parte del flujo. Sin embargo, en agua residual, esto no es siempre correcto; la demanda de cloro puede, y muy seguido lo hace, variar independientemente del flujo.

El control residual cambia la velocidad de alimentación de cloro basada en la desviación de un punto fijo en un analizador/controlador. En sistemas donde la velocidad de flujo es cercanamente a una constante en un día cotidiano o es estrictamente estacional, este tipo de sistema de control trabaja bien. En sistemas donde la velocidad de flujo varía seguido y la demanda también es variable, el control residual no puede ser tan efectivo como el ritmo de flujo, debido a que el sistema de control residual no reacciona bien para grandes variaciones en la velocidad de flujo sobre cortos periodos de tiempo.

Una combinación de ritmo de flujo y control residual ha sido comúnmente usada para la clorinación y la dechlorinación por más de 10 años. En este método, llamado control de circuito cerrado mixto, el mayor componente del algoritmo de control es el flujo equilibrado. El compuesto, o segundo, circuito cerrado varía la dosis proporcionada al flujo por medio de una señal de un controlador analizador residual. Este ajuste o recorte automático de la dosis es el corazón de un sistema de circuito cerrado mixto. La señal recortada está basada, como en los sistemas de control residual, en la desviación de un punto fijo el cuál es manualmente colocado por el operador. Si el punto fijo en un sistema de circuito cerrado mixto está muy lejos para ser controlada automáticamente, a este tercer circuito cerrado es llamado control en cascada.

Los factores que gobiernan la elección de una estrategia de control para una instalación en particular incluyen restricciones reguladoras, instalaciones existentes,

diseño en el sistema de tratamiento, costo-efectividad, y requerimientos de mantenimiento del sistema.

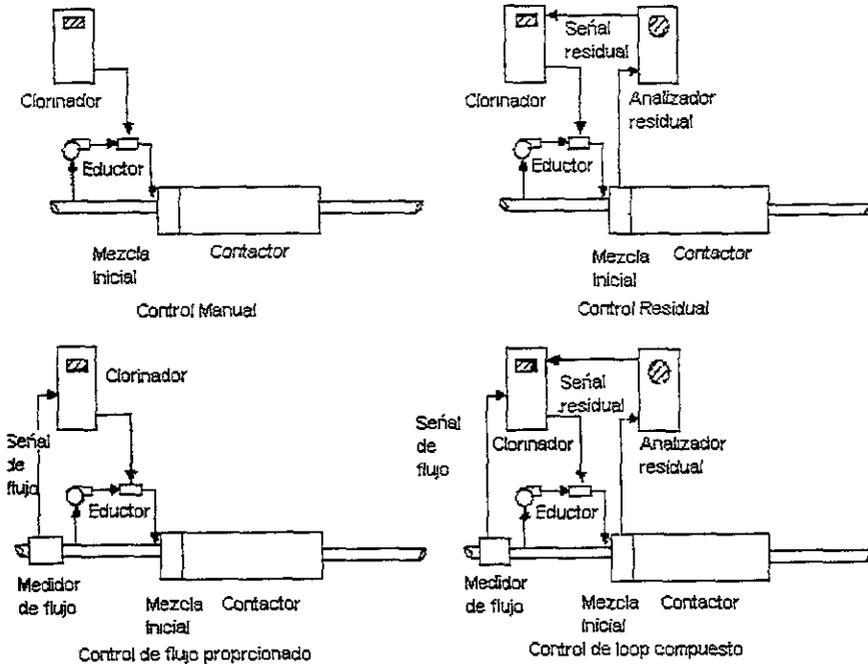


FIGURA 5.1. Métodos de control alternativos de clorinación

V.3.1 CONTROL MANUAL

La diligencia del operador delimitará el funcionamiento del método de control manual. Si el flujo o el residual de cloro llegan a cambiar, el operador deberá hacer ajustes; consecuentemente, este método puede tener un amplio margen de funcionamiento.

El control manual de la alimentación de cloro es la estrategia más simple y, por la virtud de su simplicidad, es en muchas veces la mejor opción. Un sistema de control manual requiere considerablemente menos mantenimiento y pericia de un operador que alguna otra forma de control automático. El clorinador básico alimenta a una

predeterminada velocidad de alimentación constante, la cual es cambiada por el operador como requiera. El control manual es muy económico en costo de capital, pero esto puede permitir una alimentación de cloro ya sea, por encima o por debajo de la necesaria y por lo tanto, insuficiente desinfección. Los sistemas de control manual son usados cuando la velocidad de flujo en la planta es constante y el cloro que se requiere es una cantidad mínima. Generalmente, una planta de 90 L/s (2 mgd) o más pequeña es más sensible a este tipo de control, a menos que su descarga permita controles con detalle del cloro residual en el efluente.

Si una planta está en la etapa inicial de diseño, se deberá considerar el uso de un tanque igualador previo al tanque de contacto de cloro. El flujo igualado, especialmente en plantas con extremadamente anchas variaciones de flujo diurno, puede hacer uso de un sistema de control manual incluso sería más atractivo ya que las variaciones en la demanda de cloro serían minimizadas.

V.3.2 CONTROL SEMI AUTOMÁTICO

El mismo equipo utilizado en los sistemas de control manual a veces pueden utilizarse para automatizar parcialmente la operación del sistema. Este tipo de control puede ser una solución economizada en los casos en los que se requiere un mayor control que con un sistema manual.

El control de este tipo de sistemas es de encendido-apagado. El clorinador se puede encender o apagar automáticamente a la respuesta de alguna señal, como podrían ser el nivel de agua o el bombeo inicial. El clorinador se puede encender o apagar controlando lo siguiente: la bomba de inyección de cloro; una válvula solenoide en la línea de abastecimiento de agua hacia el inyector o al eyector; o bien, una válvula solenoide colocada en el tubo de vacío de gas, entre la válvula de control de funcionamiento y el inyector.

En caso de un flujo que varía de forma discreta, por ejemplo, como resultado de una serie de bombes encendiéndose y apagándose, es posible usar una serie de válvulas solenoides en la tubería de vacío, cada una encendiéndose y apagándose con el bombeo que le corresponde. Esto combina la sencillez de un equipo de control manual con una estrategia de control de flujo equilibrado. Con la combinación adecuada, se

puede lograr el control residual de la misma manera, y es posible combinar estas estrategias de alimentación medida para producir una versión sencilla pero efectiva de control de circuito cerrado mixto.

V.3.3 CONTROL DE FLUJO PROPORCIONADO (DE ALIMENTACIÓN AVANZADA)

En la mayoría de las plantas de agua residual, el flujo no es discretamente variable (*alimentado medidamente*), y tampoco es posible ni práctico construir cuencas de igualación; por lo tanto, el método más popular es el de dosis de clorinación proporcional al flujo. En esta estrategia, un elemento de flujo primario transmite una señal de flujo a un controlador dentro del gabinete del clorinador que abre o cierra una válvula automática, dependiendo del nivel de la señal (normalmente de 4 a 20 mA DC) del medidor de flujo.

Los clorinadores que proporcionan flujo están diseñados a partir de una dosis de diseño establecida con respecto a la velocidad de alimentación de cloro en kilogramos (o libras) por día. Esta dosis de diseño es de proporción 1:1, que es, en la dosis de diseño, el 10% de la señal del medidor de flujo que va a resultar en 10% de la velocidad de alimentación completa en el rotómetro del clorinador. Los proporcionadores de flujo tienen un ajuste de control de dosis que permite al operador variar la proporción de la dosis de diseño de 1:5 a 2:1.

Un principio esencial del diseño de flujo medido es que el elemento de flujo es medido para dar una señal por lo menos 40 a 60% de la escala completa al promedio de flujo diario. Esto podría requerir el uso de un medidor de flujo especial para controlar el clorinador, y un medidor de flujo distinto para medir el flujo de la planta. Debe señalarse que estas son dos funciones separadas y no se puede permitir que entren en conflicto. Otra advertencia con la medición de flujo ocurre en los flujos de la parte baja de la planta. Un clorinador que puede trabajar perfectamente durante el día puede no funcionar en la noche si el flujo de la planta se aproxima a cero.

Aunque algunos cambios en el equipo pueden ayudar a aminorar el problema, desde el punto de vista del diseñador del sistema de clorinación, la única solución sería proporcionar alguna forma de igualación de flujo. Generalmente, este problema ocurre en plantas de menor capacidad.

El método de alimentación avanzada implica una mejora importante porque el flujo ha sido eliminado como variable proporcionada del operador que es cuidadoso en el mantenimiento del sistema de control. El sistema de alimentación avanzada es preferible en los suministros de agua en donde la demanda de cloro es estable.

V.3.4 CONTROL RESIDUAL (DE RETROALIMENTACION)

El elemento esencial de un sistema de control residual es el analizador en línea de control residual, que mide y transmite una señal continua, proporcional al residuo de cloro en el flujo de muestra. Existen tres tipos básicos de analizadores residuales: amperométricos, colorimétricos, y sondeos específicos de ion y sonda polarográfica.

El analizador residual que más comúnmente se usa es el de tipo amperométrico. Este analizador consiste de una celda de muestra con dos electrodos, ya sea de oro y platino o de oro y cobre, dispositivo de alimentación amortiguada y mecanismos de alimentación de reacción (potasio de yodo), un mecanismo de limpieza de celda, circuitos de compensación de temperatura y circuito de calibración. La teoría de operación es sencilla: disminuyendo el pH a 4 causa que el cloro libre esté presente como ácido hipoclorídico (HOCl), y la suma de potasio de yodo causa una reacción con el cloro combinado el cual, estequiométricamente produce IODINE libre. HOCl o el iodine libre crea un potencial eléctrico entre los metales disímiles de los electrodos, produciendo así un voltaje o corriente que es proporcional al cloro residual. Para determinar el residuo de cloro libre, no se utiliza el potasio de yodo; se usa cuando se desea un residuo de cloro total. Un tipo de valorador amperométrico se muestra en la fig. 5-2.

En la práctica, la exactitud y la confiabilidad de un analizador amperométrico depende completamente en la habilidad del instrumento para mantener los electrodos en la celda limpios o en un estado constante de corrosión o deslustre, compensando así los errores de calibración.

Los analizadores colorimétricos no son utilizados con frecuencia en las plantas de tratamiento de aguas, ya que la mayoría de ellos se apoya en el método Palin DPD o en alguna de sus variantes, y el agua para tratamiento normalmente contiene cantidades

suficientes de sólidos suspendidos y de turbulencia que hacen que una celda óptica sea inútil. Además, el método DPD está sujeto a interferencias en el agua residual que no siempre se pueden compensar con analizadores colorimétricos.

Los sondeos de ion específicos y los polarográficos son de algún modo más atractivos para la determinación de residuales de cloro en el agua de tratamiento porque se les puede localizar cerca del punto de determinación residual, y porque generalmente *no requieren una bomba muestra o un abastecimiento reactivo*. Igual que con los analizadores amperométricos, la precisión y exactitud de los resultados de residuales obtenidos usando analizadores de tipo sondeo se ven muy influenciados por la eficacia del método diseñado en ellos para mantener limpio el electrodo.

Uno de los criterios para lograr un diseño de sistemas de control residual exitoso es *minimizar el tiempo de retraso*. El tiempo de retraso comprende tres componentes: primero, el tiempo que toma el flujo para pasar del punto de inyección del cloro al punto de muestra; segundo, del punto de muestra al analizador (incluyendo la velocidad de respuesta del analizador); y tercero, la velocidad de respuesta de la válvula de control en el clorinador.

El primer componente en el tiempo de retraso depende de la distancia entre el punto de inyección y el punto de muestra, por lo tanto, para minimizar el tiempo de retraso, la distancia debe ser menor. Sin embargo, porque la reacción de clorinación en agua de tratamiento requiere tiempo para llevarse a cabo, el punto de muestra no puede estar tan cerca del punto de inyección pues impediría que se desarrolle un residual correcto.

El comienzo de los caminos fundamentales de la reacción de desinfección se habrá iniciado inmediatamente después de agregar el cloro al agua residual, si es que la mezcla adecuada se llevó a cabo. Por lo tanto, para obtener un máximo control, el punto de muestra debe localizarse a una distancia que corresponda a un tiempo aproximado de flujo de 90 segundos desde el punto de inyección.

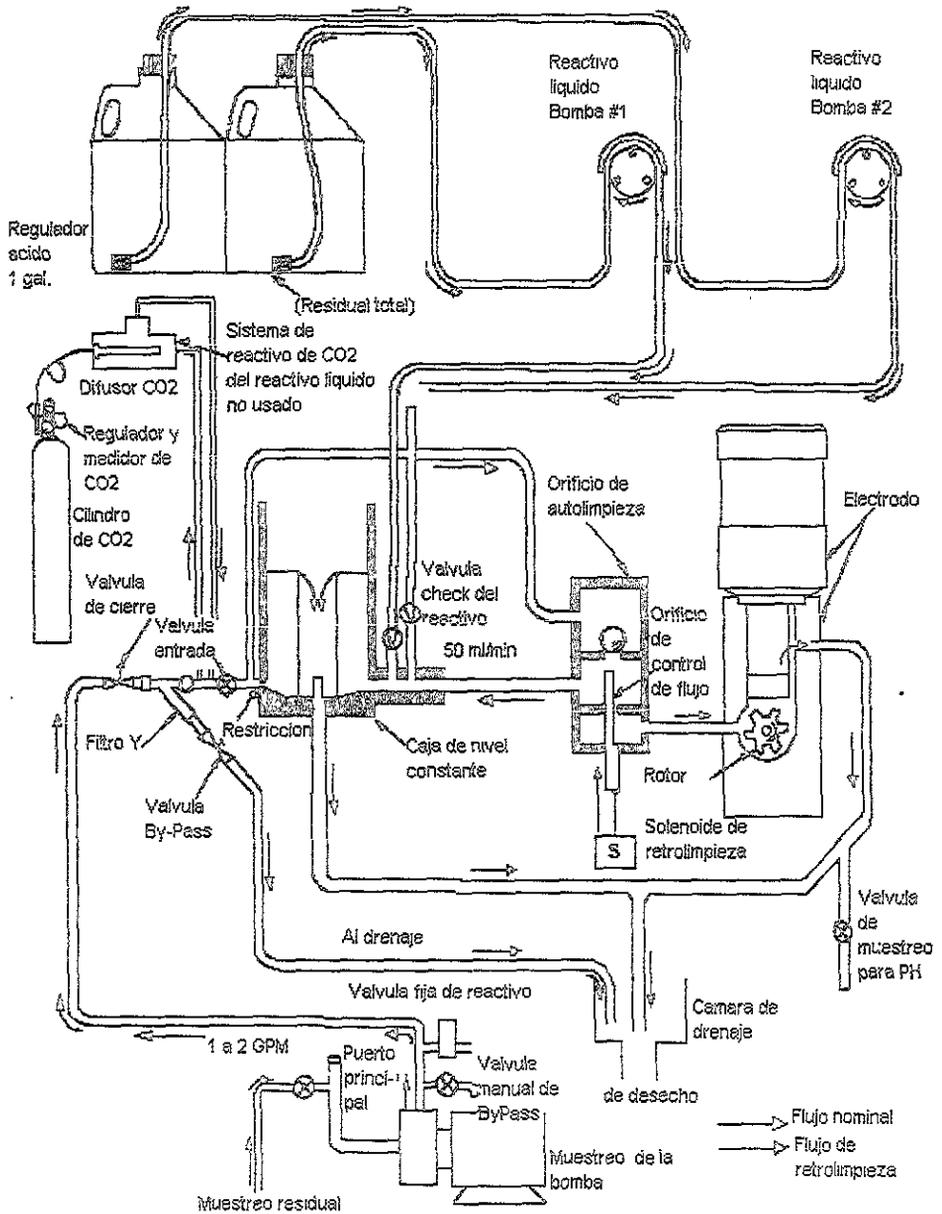


FIGURA 5.2. Diagrama de flujo de un analizador de cloro residual amperométrico.

La distancia del punto de muestra al analizador, y la velocidad de respuesta del analizador también pueden minimizarse. Primero, localizando el analizador lo más cerca posible al depósito de contacto y al punto de muestra, y no en el cuarto de control de cloro; esto hará que se reduzca al mínimo la porción de tiempo de retraso. Segundo, el uso de un analizador producirá la respuesta más rápida

El tercer componente del tiempo de retraso, o la velocidad de respuesta de la válvula de control en el clorinador, generalmente es de consecuencias insignificantes en comparación a los otros componentes del retraso.

Esta discusión no pretende dar a entender que la reacción de la clorinación toma 90 segundos, ni tampoco que es innecesario el contacto para un mínimo de 30 segundos. Lo que sí señala esta discusión es que después de 90 segundos, las reacciones de clorinación son suficientemente completas como para ser medidas para propósitos de control, y si el sistema de control está funcionando adecuadamente, se puede obtener el residual de cloro después de 30 minutos de detención por medio del muestreo manual y del análisis.

Si el muestreo manual es insuficiente en proporcionar salvaguardas adecuadas que sirvan contra una desinfección incorrecta, se puede instalar otro analizador residual dedicado en un punto de muestra que esté a un mínimo de 30 minutos de detención aguas abajo del punto de inyección.

El razonamiento para el uso de analizadores dedicados en el lugar de adaptaciones de muestra de interruptor es que si un analizador está leyendo alternadamente la muestra de control (90 segundos) por 45 minutos cada hora, y la muestra efluente del depósito de contacto (con un mínimo de 30 minutos de detención), el analizador no podrá ser usado para control durante los 15 minutos restantes de cada hora que está leyendo la muestra de la salida del depósito.

En vista del tiempo requerido para enjuagar el analizador y estabilizar la lectura cada vez que se lleve a cabo la muestra de interruptor, un analizador en este tipo de sistema probablemente es útil como una señal de control válida por 30 a 35 minutos cada hora, y produce de 8 a 10 minutos de datos de muestreo válidos desde la salida de la

cámara de contacto cada hora. En la práctica, el uso de analizadores dedicados permite tener una medición continua y control continuo, y el costo adicional es insignificante comparado con el beneficio que se obtiene.

Teóricamente, el control de retroalimentación es superior al de alimentación avanzada porque el residual de cloro se usa directamente para controlar la adición de cloro. Desafortunadamente, este no es siempre el caso porque los análisis de cloro residual divagan si no se les controla regularmente. Algunas veces dependiendo el caso, el control de alimentación avanzada es mejor que usar solamente el de retroalimentación.

V.3.5 CONTROL DE CIRCUITO CERRADO MIXTO

Cuando la demanda de cloro es variable, es preferible usar el sistema de circuito cerrado mixto. Ya que la demanda de cloro no es exactamente proporcional a la velocidad de flujo, y porque frecuentemente resulta imposible regular la velocidad de flujo hasta el punto de que un sistema de control manual o uno de control residual sea práctico, muchas plantas de tratamiento de aguas están equipadas con un sistema de clorinación que combina las ventajas de una regulación de alimentación de cloro en proporción al flujo, y un ajuste de la proporción de flujo (dosis) por referencia al residual fig. 5-3. Estos son sistemas de circuito cerrado mixto; están sujetos a las mismas precauciones con respecto a la medición de flujo y tiempo de retraso como en los sistemas de regulación de flujo y de control residual.

A veces se logra el control de circuito cerrado mixto controlando el regulador de vacío diferencial en el clorinador con la señal de flujo, y ajustando el orificio de medición de gas del cloro con la señal en el analizador del residual. Alternativamente, se puede dar añadiendo electrónicamente ambas señales de control y usando los resultados para controlar el vacío diferencial. La primera aproximación permite al clorinador operar en un rango dinámico de 200:1, mientras que el vacío diferencial sólo permitirá un rango dinámico de (alimentación máxima/alimentación mínima) de 20:1. Sin embargo, en la mayoría de las instalaciones es satisfactorio un rango dinámico de 20:1.

Desde un principio debe entenderse que el propósito del analizador de residual de cloro aquí discutido, es controlar la dosis de cloro. Si se desea un monitoreo continuo del residual de cloro después del periodo de contacto del cloro, se necesitará otro analizador residual de cloro.

La principal consideración para localizar el punto de muestra para el analizador de control es la buena calidad de la mezcla. Si la muestra se toma antes de que se haya dado una buena mezcla, el resultado es que darán lecturas erradas, inadecuadas para el control. Para la mayoría de los diseños de mezcla inicial, el muestreo debe darse inmediatamente en la parte baja del canal del mecanismo de mezcla inicial.

Comúnmente, los residuales de cloro son lo suficientemente estables para mediciones de control sólo unos segundos después del contacto. Si no está presente ningún mecanismo de mezcla inicial, entonces el punto de muestra debe estar lo bastante lejos aguas abajo para asegurar que se haya dado una buena mezcla. Para flujo turbulento, 10 diámetros de tubería serán suficientes; sin embargo, deben considerarse las condiciones de bajo flujo, y si no se da una mezcla adecuada en un periodo de tiempo razonable, se hará necesario un mecanismo de mezcla inicial que sirva para objetivos de control.

Los analizadores de cloro residual siempre deben estar colocados lo más cercanos posible al punto de muestra, aun si se requieren almacenajes especiales. Las tuberías de muestra deben ser diseñadas para velocidades de aproximadamente 10 pies/s (3 m/s), y debe minimizarse el tiempo entre el tiempo de muestra y los analizadores de residuales.

Finalmente, la dosis de cloro siempre debe estar medida al mismo paso del flujo más representativo del punto de añadidura. Un error común en el diseño es un ajuste en el que la dosis de cloro del efluente va al mismo paso usando mediciones del flujo de entrada. Hay muchos eventos que se llevan a cabo entre el flujo de entrada y el efluente de una planta, y un diseño como éste generalmente da una dosis errada del cloro y un sistema operativo inmanejable.

En un sistema de circuito cerrado mixto existen dos circuitos de control con sistema de cierre: el circuito de flujo y el circuito residual. Estos circuitos pueden cerrarse entre sí de varias maneras. Una de ellas es que la señal del control residual module el ajuste de la dosis del clorinador. Otra forma es que las señales del analizador y del medidor de flujo se envíen a un multiplicador que, a su vez, envía una señal compuesta correspondiente al flujo masivo hacia el clorinador. Así, el clorinador inyecta la cantidad adecuada de cloro basada en esta señal masiva.

El tipo de controlador de circuito cerrado tiene la ventaja de que puede introducir humedecimiento en el sistema, permitiendo así que el sistema evite la oscilación incontrolable que se produce por el exceso de tiempo de retraso. El tipo multiplicador del circuito cerrado mixto, tiene la ventaja de que puede reaccionar inmediatamente a los cambios rápidos en el residual (y la subsecuente demanda). La preferencia por alguno de estas dos tipos de circuito debe basarse en los requerimientos específicos de la instalación.

En una planta de tratamiento grande (con un mínimo de tratamiento de 450 kg/d (1000 lb/día), un sistema de circuito cerrado mixto no solamente da un control más exacto sino que puede ahorrar costos minimizando la sobrealimentación de cloro por parte de los operadores. En plantas más pequeñas o en aquellas en que el uso de cloro es menor, la clorinación mixta no ahorra en costos minimizando la sobrealimentación (aun cuando se requiere la desclorinización) debido a que se incrementa el costo de operación de un sistema de circuito cerrado en contraposición a uno de regulación de flujo.

Generalmente, no se garantiza el uso del sistema mixto o el de control residual en plantas cuyo tratamiento diario con cloro es mucho menor a 45kg/día (100 lb/día).

El cuadro siguiente (cuadro 5.2) funciona como un cuadro resumen que muestra los métodos recomendados de control de acuerdo al flujo a tratar. Aunque existe una pequeña variante en el nombre del método de control, es importante que quede claro la naturaleza del tipo de control, más allá de la traducción al español del nombre de cada método de control.

CUADRO 5.2. - METODOS DE CONTROL

TIPO DE FLUJO A TRATAR	METODO RECOMENDADO DE CONTROL
Control manual- Continuo, gasto uniforme (como bombeo constante).	Manual- Se enciende, se apaga y se establece el rango de alimentación de forma manual.
Control semiautomático intermitente, rango uniforme (como bombeo controlado por un switch de circulación o presión).	Encendido- Apagado intermitente – El rango de alimentación se establece manualmente pero se enciende y se apaga automáticamente. Se requiere de un circuito de control.
Gasto por etapas variables sin relación al tiempo (como el bombeo constante o automático de una serie de bombas de distinto tamaño controladas por los switches de circulación o de presión).	Porcentaje de adición – La tasa de alimentación se fija automáticamente para cada uno de los distintos rangos, cada uno ajustable Encendido y apagado automático. Se requiere control de circuito
Control automático. Porcentaje variable con demanda de cloro relativamente constante (como abastecimiento de agua con flujo de gravedad o bombas de capacidad variable)	Flujo proporcional – la operación del clorinador es totalmente automática y la tasa de la dosis (fijada manualmente) permanece constante sin importar que haya cambios en el rango de flujo que está siendo tratado. El control se toma inicialmente de un medidor de flujo.
Gasto constante con demanda de cloro variable.	Residual directo – la operación es automática y la velocidad de alimentación varía según la demanda de cloro. El control de la tasa de alimentación se basa comparando la demanda (residual de cloro a un punto de ajuste manual). Este método puede usarse en donde las condiciones de la planta y otras limitaciones lo permitan.
Gasto variable con demanda de cloro variable.	Loop compuesto – la operación es automática y el rango de alimentación varía con la demanda de flujo y de cloro. El control de la tasa de alimentación se basa comparando la demanda (residual de cloro) a un punto de ajuste manual. Esto, a su vez, varía el rango de la dosis (constante con relación al flujo que está siendo tratado).

Con estas especificaciones se determinará el tipo de control que se necesita en cualquier situación en particular conjuntamente con el cuadro siguiente (5.3) que muestra los detalles de medidores primarios y equipo auxiliar, y su aplicabilidad en tipos de clorinadores específicos.

CUADRO 5.3. - METODOS DE CONTROL

TIPO DE CONTROL MANUAL	SEÑAL REQUERIDA	ACCESORIOS DE CONTROL DEL CLORINADOR	NOTAS
MANUAL	NINGUNO	NINGUNO	-
ENCENDIDO Y APAGADO	Contacto de encendido desde el circuito de control, timer, etc.	Válvula solenoide	La válvula solenoide interrumpe el agua operada por inyector, como también la aspiración de la operación del clorinador para parar la alimentación de cloro.
REMOTO MANUAL	Ninguno	Actuador eléctrico de Muesca en v, y controlador remoto de flujo proporcional.	La tasa de alimentación de cloro se indica y ajusta en una estación remota o en un clorinador.
RANGO DE ADICION	Contactos auxiliares sin corriente en el encendido de las bombas de servicio.	Controlador de tasa de adición, actuador eléctrico V-M y controlador de flujo proporcional	El controlador del rango de adición fija automáticamente la tasa de alimentación del clorinador a una de varias tasas Predeterminadas y ajustables, o a la sumados o más tasas similares como las iniciadas por los switches de bombas de servicio.
FLUJO PROPORCIONAL	4-20, 0-16 y 0-20mA dc o 0.2-1, 0-1, 1-5 y 0-5 Vdc Cualquier otra señal	Actuador eléctrico V-M y controlador de flujo proporcional. Actuador eléctrico V-	El controlador y actuador eléctricos convierten la señal eléctrica en un movimiento mecánico lineal que posiciona el enchufe de la muesca en v para controlar la tasa de alimentación del clonador. La dosis se ajusta manualmente.

	elétrica lineal.	M y controlador de flujo proporcional, y convertidor de señal comercial.	
RESIDUAL DIRECTO	4-20mA dc	Actuador eléctrico V-M, controlador residual / loop compuesto y analizador de residual de cloro.	El analizador produce una señal de 4-20mA, proporcional al residuo de cloro en la muestra. El controlador recibe esta señal y la compara a un punto fijado manualmente y da una salida al Actuador en el clorinador para controlar la tasa de alimentación.
LOOP COMPUESTO	Cualquier flujo proporcional y señal de cloro residual de arriba.	Actuador eléctrico V-M, controlador residual / loop compuesto y analizador de residual de cloro, y medidor de flujo comercial.	La salida del clorinador se controla de acuerdo con dos variables, requerimiento de flujo y de cloro. El analizador produce una señal de 4-20ma, proporcional al residuo de cloro en la muestra. El controlador recibe esta señal residual y también la del flujo proporcional. El controlador compara la señal residual con un punto fijado manualmente. La señal de error Resultante se multiplica por la señal de flujo para dar una salida al actuador en el clorinador para así controlar la tasa de alimentación.

V.4 SELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL MONTAJE

Es muy sencillo, los clorinadores se pueden seleccionar según sea el requerimiento, ya sea de baja capacidad (500 PPD máximo), o de alta capacidad (10,000 PPD máximo). Los clorinadores de baja capacidad existen en dos formas: contenedor de cloro de pared o de tubo múltiple (w/c/m) montado, y el de montaje modular (o gabinete).

Para poder seleccionar el modelo deseado, ver cuadro 5.4. Se puede observar que varios clorinadores distintos sirven para la aplicación que se necesita.

CUADRO 5.3. – CONFIGURACIÓN DEL MONTAJE

TIPO	CAPACIDAD	CONFIGURACION DE MONTAJE	METODO DE CONTROL DISPONIBLE			NUMERO DE MODELO DEL CLORINADOR
			MANUAL	SEMIAUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	
TIPO VACIO (ALIMENTACION POR SOLUCION)	CAPACIDAD BAJA (500 PPD) O MENOR	W/C/M MONTADA	SI SI	SI SI	SI SI	SERIES V10K SERIES S10K
		MODULAR MONTADA	SI	SI	SI	SERIES V2000
	ALTA CAPACIDAD (ARRIBA DE 500 PPD)	MODULAR MONTADA	SI	SI	SI	SERIES V-2000 (MAX 10,000 PPD)
ALIMENTACION DE PRESION DIRECTA	BAJA CAPACIDAD	MONTURA DE PARED	SI	NO	NO	SERIES 20-057 (MAX 300 PPD)

Generalmente, es necesario mantener una alimentación continua de cloro. Si no se atiende la instalación o si el operador tiene otras tareas que impiden el reemplazo de los cilindros gastados, el uso de Swictovers automáticos proporcionan los medios para tener nuevos cilindros cuando sea necesario

V.5 PUNTOS DE INYECCION MANUAL

A veces es necesario cubrir múltiples puntos de inyección de cloro en la planta, por ejemplo, en el sistema operativo, en el clarificador (primario y secundario), en la tubería de sedimentos, y en otros lugares. Estos puntos de inyección se usan principalmente para control biológico y de olores, y por lo tanto no requieren de control automático.

Históricamente, un sistema de solución redirigible, utilizando válvulas manuales y rotómetros de vidrio para medir el flujo de la solución de cloro se han usado para llevar a cabo esta tarea.

Por diversas razones, esta práctica no se recomienda. Primero, el uso de una estación de control manual, subsecuente a la válvula de control automático complica innecesariamente el circuito de control, y puede provocar que el clorinador sea incapaz de controlar. Segundo, existen algunos tipos de agua que desprenden grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases cuando se usan como solución de agua mejorada. Esto puede causar vibración en el rotómetro que no sólo afecta la exactitud de la lectura, sino que puede ser lo suficientemente grave como para causar que el tubo de vidrio se haga pedazos. Además, un sistema de solución redirigible implica, a priori, que los eyectores están localizados dentro del cuarto de control de cloro.

Para minimizar el tiempo de retraso en los sistemas de control automático, se recomienda que el eyector se localice lo más cerca posible al punto de inyección, y que la tubería de solución sea lo más corta posible. Esto también disminuye el rompimiento de cloro causado por introducir un gas húmedo saturado en el depósito de mezcla, y por lo tanto, reduce el consumo de cloro. Se conocen pocas limitantes prácticas para el uso de tuberías de vacío de cloro hasta aproximadamente 3 km. (2 millas) de longitud.

El método recomendado de proporcionar puntos de inyección manual es dar estaciones de medición de gas con inyectores localizados lo más cerca posible al verdadero punto de inyección. Los inyectores y las estaciones de medición se pueden localizar directamente en el punto de aplicación en vez de en el cuarto de control del clorinador.

En los casos en que se requiera tener tasas de control de alimentación precisas en varios puntos de aplicación, la instalación puede funcionar mejor teniendo una sola fuente de cloro con una sola válvula reguladora de vacío de una capacidad adecuada y un clorinador para cada punto de aplicación. Cada clorinador se controla individualmente, lo que da mayor exactitud de la que se puede obtener con un solo clorinador que tenga que dividir la solución a varios puntos de aplicación.

En aquellas situaciones en las que es necesario usar sistemas de solución redirigible, se recomienda usar un rotómetro de tubo de metal armado, de material resistente a la corrosión, en lugar de un rotómetro con tubo de vidrio. En los momentos en que la salida de gas provoque una vibración que afecta la exactitud de un rotómetro, se

puede considerar el uso de un medidor de flujo magnético o (si existen suficientes burbujas de gas) un medidor de tipo doppler.

V.6 PRINCIPIOS DE CONTROL DE LA SULFURIZACION

En general, los mismos principios identificados en los sistemas de clorinación son aplicables a los sistemas de desclorinación. Sin embargo, la excepción es que actualmente no existe ningún analizador continuo confiable que mida directamente el residual de dióxido de sulfuro en el agua de tratamiento. Esto significa que el control residual y el de circuito mixto de desclorinación deben hacerse a través de la inferencia.

Se usan dos tipos de sistemas de control para la sulfurización. En las plantas que no requieren una completa desclorinación de sus efluentes, es posible utilizar un sistema de control de retroalimentación, en donde el analizador mida el residual de cloro un poco después de la inyección y la mezcla del dióxido de sulfuro. El tiempo de retraso entre el punto de inyección y el punto de muestra es mínimo ya que la reacción de desclorinación es casi instantánea. La señal del punto de arranque se usa como un controlador inverso: mientras el residual de cloro aumenta, la tasa de alimentación de dióxido de sulfuro también aumenta.

En las plantas que necesitan desclorinizar completamente su efluente, el sistema de control de retroalimentación es impráctico porque no es posible medir cloro con precisión, y los analizadores que no están expuestos a una cierta cantidad de cloro tienden a equivocar la calibración. Para plantas de este tipo, se puede usar un sistema de alimentación de avance con un multiplicador que envíe una señal de flujo masivo al sulfurizador basado en la señal del analizador localizado en la salida del depósito de contacto.

A veces se puede utilizar una modificación del diseño standard de alimentación en avance, en la que un transmisor de flujo de gas se instale en la tubería de vacío del sulfurizador. El transmisor mide el flujo exacto de dióxido de sulfuro a través del alimentador y transmite esta señal a un controlador de proporción que compara la señal multiplicada (kilogramos o libras por día de cloro en el agua) con el promedio medido de alimentación de dióxido de sulfuro y da una señal de control de salida que es proporcional

a la razón directa requerida entre los dos gases para que se de una desclorinización adecuada.

V.7 CONSIDERACIONES ESPECIALES SOBRE LOS SISTEMAS DE CLORAMINAS

Es importante tener en cuenta la tasa residual de amoníaco a cloro cuando se diseñan instalaciones para clorinación residual combinada. White recomienda una proporción de 3 partes de cloro por 1 parte de amoníaco. Un informe, estudio realizado en 24 instalaciones que actualmente utilizan la clorinación residual combinada reveló tasas de Cl_2/NH_3 que se usan actualmente que van de 1 a 4, la media son 3. A medida que este promedio aumenta, el costo del amoníaco necesario para mantener un nivel dado de residual de cloro también aumenta.

Para pH alcalinos, el máximo residual combinado a largo plazo estará en un promedio de 5; para pH más ácidos, se aplica un promedio más alto fig. 5-4. Arriba de esta dosis, cantidades sustanciales de cloro combinado se perderán en iones de nitrógeno y nitrato. También se ha notado olor a cloro en las tasas mayores de 4 aproximadamente. Los promedios muy bajos de agua con amoníaco corren el riesgo de tener una corrosión excesiva de elementos de cobre y de latón en el sistema de distribución.

Entre 1930 y 1940, un gran número de plantas de tratamiento instaló lo necesario para usar residuales de cloro combinados. Una encuesta realizada por la AWWA en 36 estados en 1940, observó que 2541 suministros trataban su agua con cloro y 407 de ellos utilizaban residuales de cloro combinados. Por lo tanto, en su punto máximo, residual de cloro combinado se utilizaba en, aproximadamente, uno de cada siete suministros de agua.

A continuación, el descubrimiento de la clorinación a punto de quiebre, la dificultad para obtener amoníaco durante la Segunda Guerra Mundial, y la presión por parte de autoridades de salud para usar un residual libre de cloro más efectivo, provocó que el método de residual de cloro combinado decreciera en popularidad. Sin embargo, recientemente se ha incrementado el interés en este método porque los residuales combinados no reaccionan con el humus acuático natural presente en el agua para formar

así trihalometanos (THM). En la mayoría de los casos, la utilización de residual de cloro combinado es la forma más barata de impedir la formación de THM.

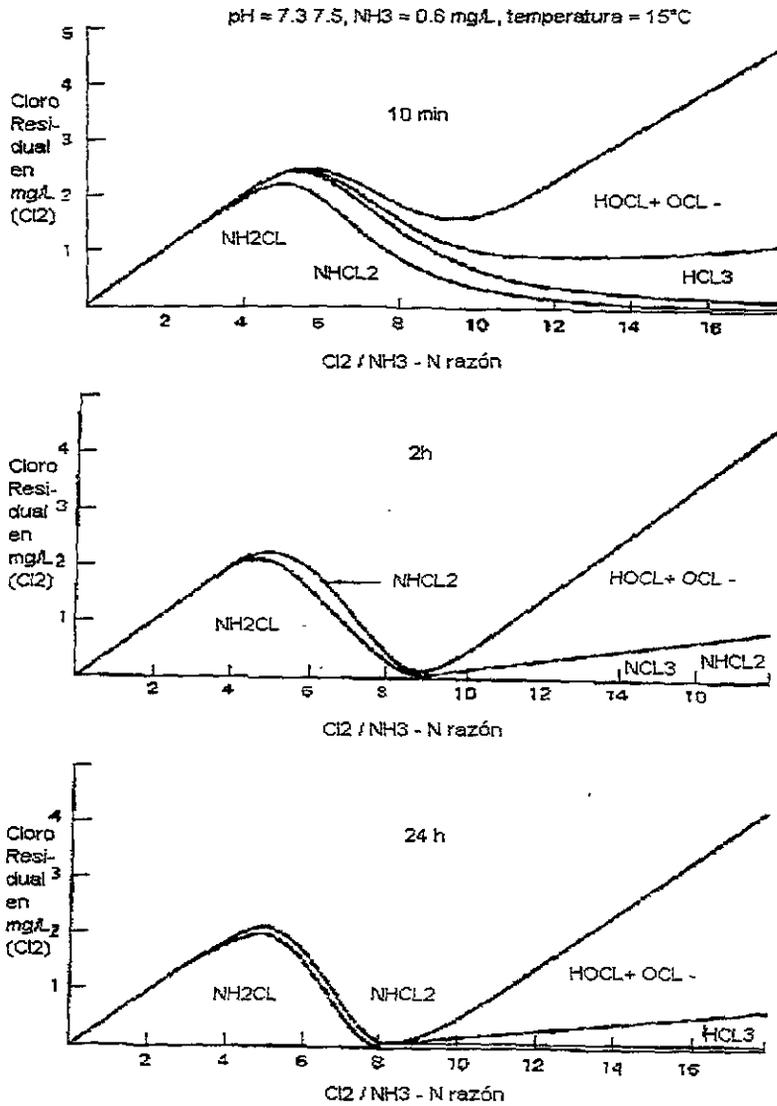


FIGURA 5.4. Curvas de cloro libre residual.

El diseño general de las instalaciones de clorinación requiere de conocimiento sobre el diseño de sistemas de amoníaco además de los sistemas de cloro. La mayor parte del equipo utilizado para el cloro se puede usar para el amoníaco con algunas ligeras modificaciones. Los clorinadores pueden usarse como para dosificación de amoníaco a través de un equipo sencillo de modificación.

El amoníaco tiene un calor de vaporización de 328 cal/g y puede ser alimentado desde la punta del cilindro, igual que el cloro, aunque no con el mismo promedio. La capacidad de un cilindro de 1 tonelada de amoníaco por el método de evaporación es de aproximadamente 84 lbs/día.

Al igual que el cloro, los líquidos de amoníaco deben ser transportados en pipas de acero negro con moldes de armadura de hierro. Aunque el amoníaco, al igual que el cloro, pueden ser alimentados por sistemas inyectores, es altamente soluble en el agua, y son muy comunes los diseños sencillos de alimentación directa de amoníaco.

A pesar de que un sistema de tipo inyector de amoníaco elimina la necesidad de transportar a lugares lejanos en la planta amoníaco tóxico bajo presión, el amoníaco es una base, a diferencia del cloro, y suavizará el agua en el punto de inyección, produciendo un precipitado de carbonato de calcio. Esto puede causar graves problemas de escala en el sistema de inyección. Los usuarios de anhídrido-amoníaco reportan que se precipita carbonato además se acumula partes en los difusores en cuanto el amoníaco anhídrido es alimentado directamente. Estos problemas son particularmente inoportunos en agua dura, así los sistemas de inyección de amoníaco pueden requerir que se use agua blanda. En cualquier caso, el amoníaco anhídrido liberado debe ser filtrado para remover los contaminantes que son comúnmente encontrados en este producto.

A menudo el amoníaco es alimentado a través de difusores de acero inoxidable diseñados con una presión significativa. Los agujeros en los difusores de amoníaco de este tipo deberían ser 1/8 o más grande. Los difusores deben ser instalados cuidadosamente en posición horizontal, ya que en dosis bajas y pisos de planta baja, le resultará pobre la distribución si las variaciones de presión hidrostática ocurren.

Diseños exitosos alimentan amoníaco por gravedad, trazando amoníaco líquido desde lo alto del recipiente de almacenamiento hasta un medidor de flujo y regulando la válvula para el punto de inyección. La presión de vapor del amoníaco líquido es el motor principal en este caso. Las bombas medidoras son usadas algunas veces para mejorar el control de la dosis. Generalmente, la dosis de amoníaco no es crítica, y un sistema de control manual o de flujo de paso es satisfactorio. El sistema de control ideal permitiría un período de alimentación proporcional para el producto del flujo y el residuo de cloro.

El amoníaco acuoso es liberado en soluciones que son 33% amoníaco por peso. El amoníaco acuoso es usualmente alimentado vía una bomba de diafragma (superficies de teflon) y a través de líneas de PVC. El tubo de hierro es también aceptable. En forma concentrada, el amoníaco reacciona químicamente con cobre. Consecuentemente, bajo ninguna circunstancia debe ser usado cualquier latón, bronce u otra aleación de cobre en cualquier sistema de alimentación por amoníaco. Los vapores arriba de la solución en un tanque de amoníaco acuoso son extremadamente potentes. Por lo tanto, la provisión debe ser hecha por disposición de vapores desplazados en el tanque en una forma segura, tal como transferir hacia atrás al vehículo de distribución, cuando el tanque de almacenamiento esta siendo rellenado.

Las válvulas de liberación de presión en estos tanques deberían pasar a través de un depurador de tipo agua antes de ir a la atmósfera. En cuanto al ordenamiento del amoníaco acuoso, detritos libres deberían ser tomados en cuenta, ya que algunas veces el amoníaco acuoso es liberado con considerable presencia de detritos; alternativamente, equipos pueden ser instaladas para filtrar detritos indeseables del producto antes de ser usado. El atascamiento con carbonato de calcio precipitado es comúnmente reportado ser un problema con difusores que usan amoníaco acuoso. La suavidad del agua puede ser necesaria para evitar mantenimiento excesivo.

El sulfato de amoníaco sólido es usualmente alimentado en un tanque mezclador simple usando un alimentador de gravedad o volumétrico. Una vez mezclado, la solución puede ser transportada usando los mismos métodos descritos antes por amoníaco acuoso. Si el agua local es dura, pueden ocurrir problemas y la suavización de esta agua acarreada deberá ser considerada.

V.8 BOMBAS DE INYECCIÓN

Ambos tipos de bomba, la centrífuga y la de turbina se usan ampliamente para cumplir con los requerimientos de abastecimiento de agua en el clorinador operado por inyección.

V.8.1 BOMBA CENTRÍFUGA

Este tipo de bomba produce flujos altos a una altura dinámica relativamente baja. Ya que los requerimientos de la mayoría de las instalaciones de los clorinadores piden cargas dinámicas a gastos relativamente bajos de bombeo, la bomba centrífuga para este tipo de trabajo será una unidad de tamaño pequeño funcionando a alta velocidad y usando un motor de 2 polos. Aun funcionando a altas velocidades, la bomba tendrá una vida larga pues su desenvolvimiento no depende del margen de altura que haya. Por esta razón, las bombas centrífugas se deben utilizar cuando haya arena o sedimento en el agua de operación, y se recomiendan más que las de turbina en las instalaciones que desarrollen cargas dinámicas adecuada para la operación del inyector.

V.8.2 BOMBA DE TURBINA

Este tipo de bomba es capaz de desarrollar de manera eficaz grandes cargas dinámicas en gastos bajos de bombeo, característica que generalmente combina con las requeridas en las instalaciones de un clorinador. Sin embargo, el desenvolvimiento de las bombas de turbina depende del margen de altura que haya. Las bombas de turbina tienen que seleccionarse con una sobre capacidad considerable debido a la pérdida que se da por desgaste. Esto es generalmente de 30% a 40% sobre los requerimientos reales de agua con un exceso mínimo de 4 GPM. Por lo tanto, todas las bombas de turbina deben de estar equipadas con un by-pass de válvula, para regular la presión de descarga al inyector y permitir que el exceso de agua fluya de nuevo hasta la succión de la bomba.

V.8.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN

Cualquier selección de una bomba centrífuga o de turbina, tiene como punto de partida una pérdida de fricción de 5 psi entre las conexiones del conducto y de succión de la bomba, como también una pérdida de fricción de 5 psi entre la descarga del inyector y

el punto de aplicación, incluyendo una concesión en la diferencia de elevación entre el inyector y el punto de aplicación. Así mismo, debe ser un hecho conocido que el agua del inyector se obtiene del conducto que está siendo tratado.

Se debe determinar la carga dinámica que debe de vencer la bomba, ocupando la siguiente ecuación:

$$\Delta P = P_{descarga} - P_{succión} + (Pérdidas_de_fricción_o_caídas_de_presión.)$$

Las pérdidas de fricción deben de considerar las características de la tubería, las conexiones, etc., en la práctica se utiliza el valor de 10 PSIG como se dijo en el párrafo anterior, dependiendo de las condiciones del lugar. La presión de descarga es la presión que necesita el inyector en función del modelo elegido, para crear el vacío y así succionar el gas cloro del contenedor. La presión de succión es la presión que acarrea la tubería de donde se succionará el agua que va a pasar por el inyector. En el caso de que la succión se haga a partir de un canal abierto la presión de succión será igual a cero.

La selección de las bombas de turbina también incluye una concesión por desgaste en la camisa y en el rotor. Esta concesión, como ya fue mencionada, es de 30% a 40% del flujo real de agua del inyector y como mínimo 4 GPM.

Una vez tomada en cuentas estas características y especificaciones se podrá entrar a las curvas características de las bombas para seleccionar la más adecuada, sin embargo los fabricantes proporcionan tablas para seleccionar el caballaje y a su vez el modelo de las bombas de inyección, en las que relacionan el tamaño del inyector, el requerimiento de cloro por cada 24 hrs., la carga a vencer en PSI, la capacidad de la bomba en GPM, la presión en la succión de la bomba y la garganta de inyección que utilizará el clorinador. A continuación se muestran algunas de estas tablas proporcionadas actualmente por fabricantes.

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 1"**

CAPACIDAD DE 10 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	99D	15	1.2	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	99D	24	1.5	67	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	99D	30	1.7	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	99C	45	2.1	81	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	99C	75	2.7	104	30	321 3/4 x 1 x 6	1
60	99C	110	3.2	138	50	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
80	99C	140	3.7	162	70	321 3/4 x 1 x 7	2

CAPACIDAD DE 20 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	120 E	15	1.8	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	140 F	20	2.6	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	140 E	30	3.2	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	140 E	45	4	81	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	140 E	80	5.3	115	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	140 E	110	6.2	138	50	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
80	140 E	145	7.1	173	70	321 3/4 x 1 x 7	2

CAPACIDAD DE 30 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	140 G	15	2.3	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	165 F	20	3.7	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	165 F	30	4.5	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	165 F	45	5.6	81	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	165 F	75	7.1	104	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	165 F	110	8.6	138	50	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
80	165 F	140	9.8	162	70	321 3/4 x 1 x 7	2

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 1"**

CAPACIDAD DE 50 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	193 H	10	3.5	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	193 H	20	4.9	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	242 H	25	8.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	242 H	40	10.9	69	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	242 H	70	14.0	92	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	242 H	100	17.0	115	50	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
80	242 H	130	19.5	138	70	321 3/4 x 1 x 7	2

CAPACIDAD DE 75 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	242 J	10	5.4	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	242 J	18	7.1	53	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	242 J	25	8.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	242 J	40	10.9	69	10	321 3/4 x 1 x 6	1
40	242 H	75	14.6	104	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	242 H	105	17.5	127	50	321 3/4 x 1 x 7	2
80	242 H	130	19.5	138	70	321 3/4 x 1 x 7	2

CAPACIDAD DE 100 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	242 J	11	5.6	48	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	242 J	18	7.1	53	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	242 J	25	8.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	242 J	40	10.9	69	10	321 3/4 x 1 x 6	1
40	242 H	75	14.6	104	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	242 H	105	17.5	127	50	321 3/4 x 1 x 7	2
80	242 H	130	19.5	138	70	321 3/4 x 1 x 7	2

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 1"**

CAPACIDAD DE 150 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	242 J	15	6.6	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	242 J	19	7.4	55	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	242 J	30	9.2	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	242 J	45	11.2	81	10	321 3/4 x 1 x 6	1
40	242 H	75	14.6	104	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	242 H	105	17.5	127	50	321 3/4 x 1 x 7	2
80	242 H	135	20.0	150	70	321 3/4 x 1 x 7	3

CAPACIDAD DE 200 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	312 L	15	10.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	312 L	20	12.0	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	312 L	25	13.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	312 K	45	18.0	81	10	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
40	312 K	75	23.5	104	30	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
60	312 K	105	28.0	127	50	321 3/4 x 1 x 7	3
80	312 K	135	32.0	150	70	321 3/4 x 1 x 7	3

CAPACIDAD DE 250 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	312 L	20	12.0	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	312 L	20	12.0	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	312 L	25	13.6	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	312 K	50	19.0	92	10	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
40	312 K	75	24.0	104	30	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
60	312 K	110	29.0	138	50	321 3/4 x 1 x 7	3
80	312 K	140	32.5	162	70	321 3/4 x 1 x 7	3

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 1"**

CAPACIDAD DE 300 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	312 L	20	12.0	69	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	312 L	30	15.0	81	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1
10	312 L	35	16.0	81	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1
20	312 K	50	19.0	92	10	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
40	312 K	80	24.5	115	30	321 3/4 x 1 x 7	2
60	312 K	110	29.0	138	50	321 3/4 x 1 x 7	3
80	312 K	140	32.5	162	70	321 3/4 x 1 x 7	3

CAPACIDAD DE 400 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	312 L	30	15.0	92	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
5	312 L	35	16.0	92	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
10	312 L	40	17.0	92	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
20	313 L	60	21.0	115	10	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2
40	312 K	90	26.0	138	30	321 3/4 x 1 x 7	3
60	312 K	110	29.0	138	50	321 3/4 x 1 x 7	3
80	312 K	140	32.5	162	70	321 3/4 x 1 x 7	3

CAPACIDAD DE 500 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	312 L	35	16.0	104	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
5	312 L	40	17.0	104	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
10	312 L	50	19.0	115	INUNDADA	320 3/4 x 1 x 7	1 1/2
20	312 L	70	23.0	138	10	321 3/4 x 1 x 7	3
40	312 L	105	28.0	173	30	321 3/4 x 1 x 7	3
60	312 K	130	31.0	185	50	321 3/4 x 1 x 7	5
80	312 K	150	33.0	185	70	321 3/4 x 1 x 7	5

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 3/4"**

CAPACIDAD DE 10 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T D H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	165 F	10	2.6	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	165 F	20	3.7	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	193 S	25	5.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	193 S	35	6.5	58	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	193 S	65	8.8	81	30	321 3/4 x 1 x 6	1
60	193 S	95	10.8	104	50	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
80	193 S	125	12.2	127	70	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2

CAPACIDAD DE 20 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T D H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	193 G	10	3.5	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	193 G	15	4.2	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	193 G	20	4.9	46	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	193 G	35	6.5	58	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	193 S	65	8.8	81	30	321 3/4 x 1 x 6	1
60	193 S	95	10.8	104	50	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
80	193 S	125	12.2	127	70	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2

CAPACIDAD DE 50 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	193 J	15	4.2	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
5	193 J	20	4.9	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
10	242 H	25	8.5	58	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	3/4
20	193 S	40	7.0	69	10	321 3/4 x 1 x 6	3/4
40	193 S	70	9.2	92	30	321 3/4 x 1 x 6	1
60	193 S	95	10.8	104	50	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
80	193 S	125	12.2	127	70	321 3/4 x 1 x 7	1 1/2

**SELECCIÓN DE LA BOMBA DE INYECCIÓN
BOMBA CENTRIFUGA 3500 RPM INYECTOR DE 3/4"**

CAPACIDAD DE 100 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	242 J	25	8.5	81	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1
5	242 J	30	9.2	81	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1
10	242 J	35	10.0	81	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1
20	242 J	45	11.2	81	10	321 3/4 x 1 x 6	1
40	193 G	80	9.9	115	30	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
60	193 S	115	11.8	150	50	321 3/4 x 1 x 6	2
80	193 S	135	12.4	150	70	321 3/4 x 1 x 7	2

CAPACIDAD DE 150 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
0	242 J	35	10.0	104	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
5	242 J	40	10.8	104	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
10	242 J	45	11.2	104	INUNDADA	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
20	242 J	55	12.6	104	10	321 3/4 x 1 x 6	1 1/2
40	242 H	85	15.5	127	30	321 3/4 x 1 x 7	2
60	242 H	115	18.2	150	50	321 3/4 x 1 x 7	3
80	193 G	150	13.5	185	70	321 3/4 x 1 x 7	3

CAPACIDAD DE 200 LBS DE CLORO / 24 HRS.

PRESION DE SOPORTE AL CLORINADOR (PSI)	GARGANTA DEL INYECTOR Y T.F. No.	I.W.P. REQ'D (PSI)	CAPACIDAD DE LA BOMBA (GPM)	T.D.H. (Ft)	PRESION DE LA SUCCION DE LA BOMBA (PSI)	AURORA	
						MODELO DE LA BOMBA	H.P.
1 1/2	165 H	45	5.6	127	INUNDADA	317 3/4 x 1 x 7	1 1/2
1 1/2	242 J	50	12.0	127	INUNDADA	318 3/4 x 1 x 7	1 1/2
1 1/2	242 J	55	12.5	127	INUNDADA	319 3/4 x 1 x 7	1 1/2
1 1/2	242 J	65	13.8	127	10	320 3/4 x 1 x 7	1 1/2
2	242 J	95	16.6	150	30	321 3/4 x 1 x 7	2
3	242 H	120	18.6	162	50	321 3/4 x 1 x 7	3
3	242 H	155	21.2	195	70	321 3/4 x 1 x 7	3

V.9 IMPORTANCIA DEL DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico de una planta de tratamiento incluye componentes de variada complejidad. Si el ingeniero de diseño descuida una serie de consideraciones mecánicas, se pueden ocasionar algunas molestias en la operación y el mantenimiento de la planta. Estos detalles incluyen requerimientos de espacio y mantenimiento, drenaje interior, tuberías de código de colores, control de ruido, calefacción, ventilación y aire acondicionado e instalaciones de la planta.

V.9.1 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Sistemas de energía eléctrica.- El diseño de estos sistemas en una planta de tratamiento de agua residual debe de estar de acuerdo con los códigos vigentes, los reglamentos locales y de utilidad del servicio. La mayoría de estos códigos convienen con El Código Nacional de Seguridad Eléctrica. Cuando no existen requerimientos locales detallados, el diseño debe de seguir estos estándares mínimos de seguridad. Al terminar la construcción, se le pide al contratista hacer una certificación de inspección y aprobación con todas las autoridades relacionadas y de los aseguradores.

La elección de voltajes de una instalación está limitada por los tipos de servicio disponibles. La capacidad de distribución, las políticas y sistema de una instalación eléctrica tiene una gran influencia en el diseño de los sistemas de energía eléctrica.

Las características eléctricas relevantes de una compañía de distribución son la capacidad de energía, la distribución de voltaje y la capacidad de corto circuito. La capacidad de energía del sistema de distribución debe ser por lo menos igual a la carga que tiene que abastecer.

Lo más deseable es una operación de tierra neutral, de este modo, se eliminan los sobre voltajes pasajeros que pueden ser muy destructivos. Básicamente, los sistemas de tierra caben dentro de tres categorías: sólidos, de resistencia y de reactividad. Los sistemas pequeños y de bajo voltaje son, generalmente del tipo sólido; los más grandes, incluyendo los que usan protección de remisión o que usan equipo generador, requerirán otros métodos de tierra. El sistema de tierra no debe confundirse con el equipo de tierra.

El equipo siempre debe estar aterrizado sólidamente, sin importar si el sistema es o no de tierra.

Todos los sistemas deben de estar protegidos de los rayos y de las corrientes. Las corrientes de sobrevoltaje pueden ocurrir en el cableado que alimenta la estación aun si no hay una tormenta eléctrica. Generalmente, entre mayor sea la inversión en el equipo de la estación, mayor debe de ser el de protección contra rayos y sobrevoltajes. Las plantas de tamaño medio, especialmente las que se alimentan de cableado aéreo, deben de tener pararrayos y capacitores de corriente conectados entre el cableado principal y aterrizados por mínima protección. Se debe considerar el uso de mayor protección según sea el caso de la instalación.

Puede resultar peligroso trabajar alrededor de y operar equipo eléctrico pero, afortunadamente, el Código Eléctrico Nacional es entendible y se revisa con frecuencia, y se incluye en casi todos los códigos de edificios. Este código de seguridad es un estándar mínimo que debe de seguirse completamente. Algunos requerimientos importantes tienen que ver con que todo el equipo de switches debe estar en recintos a prueba de explosiones y que todo el equipo eléctrico esté adecuadamente aterrizado. Todos los paneles de switches deben de tener un "frente muerto" y una "parte trasera muerta". Debe de existir un switch de apagado de emergencia perfectamente señalizado en todas las unidades de maquinaria.

V.9.2 MOTORES

Los motores que se vayan a utilizar deben de ser calibrados adecuadamente a un factor de energía razonablemente alto. Algunos estados tienen códigos que demandan un factor de energía específico mínimo, y la mayoría de las compañías de instalación y accesorios cobran más si se exceden ciertos niveles del factor de energía. Por lo tanto, se debe considerar el uso de motores de energía eficaz.

La principal causa de fallas de los motores se debe a la descompostura del aislamiento del mecanismo. Las sobrecargas del motor provocan calor excesivo que daña dicho mecanismo; este efecto es acumulativo, ya que cada vez que hay temperatura en exceso, se va deteriorando un poco más. Por esta razón, el aparato de protección de sobrecarga debe desconectar el motor antes de que se genere calor excesivo.

V.9.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROLES

Los controles eléctricos tienen que ser sencillos, directos y confiables. Cada vez más, las plantas grandes utilizan sistemas de control centralizado que, automáticamente encienden y paran las unidades de bombeo y las válvulas asociadas y auxiliares una vez iniciadas tan sólo con estaciones de botones o aparatos de sensores automáticos.

Las consolas o paneles de control centralizado tienen luces indicadoras, switches de control o estaciones con botones, además de una línea de instrumentación para fines de operación y de récord. La instrumentación puede consistir de calibradores de presión, indicadores y controles de nivel o de presión, indicadores de flujo, y aparatos eléctricos como amperímetros, medidores de watt y de voltaje. El gran éxito del control centralizado local ha derivado en la utilización de control remoto, que se logra con la suma de relevos interpuestos de encendido y apagado que sean operados por un equipo supervisor. Este equipo supervisor de control puede operar sobre las líneas telefónicas. Además se puede utilizar equipo telemétrico para transmitir las lecturas de los instrumentos sobre los mismos canales de comunicación o sobre otros adicionales.

El equipo de control eléctrico también incluye aparatos y accesorios para encender, apagar, regular y proteger motores y otros equipos. Las aplicaciones que usen controles automáticos y de secuencia basados en niveles líquidos deben de estar diseñados con una capacidad de reserva o llenado suficiente para prevenir que el equipo se encienda y se apague muy seguido. Si se requieren más de cuatro a seis partes por hora, habrá que tener especial cuidado a la hora de elegir el motor y los controles.

V.9.4 ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO ALTERNATIVO

Este tipo de abastecimiento puede ser necesario para mantener, por lo menos parcialmente, la operación continua de la planta. Generalmente, estos sistemas utilizan generadores de diesel que, automáticamente, se encienden cuando la electricidad falla, además de tener switches automáticos que transfieren la energía a zonas de distribución preseleccionadas.

V.9.5 ILUMINACIÓN

Un buen sistema de iluminación ayudará a tener condiciones de trabajo más seguras y eficientes. Para la iluminación interior, se aconseja el uso de lámparas de descarga fluorescentes y de alta intensidad; sin embargo, cuando se usan las de alta intensidad hay que recordar el retraso en la salida de la luz.

En todas las áreas debe de haber unidades de iluminación de emergencia; pueden ser unidades individuales de pilas. Si se utilizan generadores de encendido automático, deben de haber circuitos de iluminación de emergencia separados.

Los niveles de iluminación general deben de seguir las recomendaciones de la Sociedad de Ingeniería de Iluminación (IES). La iluminación exterior debe de utilizar lámparas de descarga de alta intensidad.

CAPITULO 6**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO****VI.1 SEGURIDAD EN LA CLORACIÓN**

El primer paso hacia un diseño seguro y a la operación de una instalación de desinfección es entender las propiedades de los distintos desinfectantes.

VI.1.1 HIPOCLORITO DE CALCIO

El hipoclorito de calcio en la forma de lejía en polvo se usa con frecuencia en las plantas pequeñas de desinfección. Es un material blanco, granular que es corrosivo en agua y cuando está húmedo. El Departamento de Transporte (DOT) de USA lo clasifica como un oxidante rápido, y sus reglamentos para transportación y almacenamiento referentes a este tipo de oxidantes deben seguirse al pie de la letra.

El hipoclorito de calcio es inestable, combustible y apoyará la combustión. Hasta 1979, se podía conseguir en concentraciones de 70% de cloro disponible, pero desde entonces, los fabricantes estadounidenses han reducido el cloro disponible de 60 a 65% debido a la inestabilidad del componente. A veces se puede conseguir todavía hipoclorito de calcio al 70%.

El hipoclorito de calcio reacciona impredeciblemente con muchas sustancias comunes, y estas reacciones pueden ser violentas. Se sabe que los productos de petróleo, los aceites, las grasas, los ácidos (incluyendo los más suaves) y los azúcares causan reacciones exotérmicas violentas cuando se combinan con el hipoclorito de calcio. Con frecuencia, estas violentas reacciones pueden ser clasificadas como "explosivas". La lejía en polvo almacenada puede emitir gas cloro inesperadamente (sobre todo en altas temperaturas y condiciones de humedad), creando presiones dentro de las unidades de almacenaje. Por lo tanto, se debe tener en cuenta esta emanación de gas y de salida de la presión en una instalación de manejo de hipoclorito.

El hipoclorito de calcio debe almacenarse siempre en un lugar bien ventilado, seco y fresco. No debe estar expuesto a la luz directa del sol ni a la presencia de otros químicos.

Así mismo, se debe prevenir el uso de contenedores vacíos de hipoclorito de calcio como botes de basura y desechos, a menos que el contenedor haya sido completamente lavado, especialmente en el borde inferior.

Los operadores que utilicen hipoclorito de calcio deben de usar siempre protectores para los ojos y máscaras contra partículas cuando lo transporten o cuando mezclen el polvo con el agua, además, al trabajar con este químico, debe de existir siempre un acceso inmediato a instalaciones de regaderas.

VI.1.2 HIPOCLORITO DE SODIO

El hipoclorito de sodio, o lejía líquida, es otra de las formas comunes del cloro utilizadas en las plantas de tratamiento. Se puede conseguir en distintas concentraciones variando de 5.25% (blanqueador casero), hasta 12 o 15% (concentraciones industriales). Es inestable, corrosivo, y sólo se conserva 90 días en almacenamiento. El hipoclorito de sodio, y cualquier mezcla de un ácido suave con la solución, pueden liberar espontáneamente grandes cantidades de gas cloro. Los operadores que usan hipoclorito de sodio deben también utilizar protección para los ojos, y deben tener acceso a regaderas y lavado de emergencia. Como en cualquier forma de hipoclorito, el químico sin diluir puede causar quemaduras severas en la ropa y en la piel, por lo que se recomienda que los operadores usen ropa especial de protección.

VI.1.3 GAS CLORO

El gas cloro no es corrosivo en su estado anhídrido, pero aun en el cilindro o en el tanque de almacenamiento este estado anhídrido debe vigilarse en la operación normal. Todas las instalaciones de cloro deben tratar el gas como si fuera cloro húmedo en cada una de las etapas del proceso. El gas de cloro húmedo es extremadamente corrosivo; es irritante y sofocante. Aguantará la combustión de hierro y acero a 200°C aproximadamente (400°F).

El gas de cloro se puede detectar por medio del olfato en niveles bajos, y en niveles más altos de concentración en la atmósfera adquiere un color amarillo verdoso. Abajo de 1 ppm de volumen en aire es indetectable sin el uso de instrumentos. El nivel máximo contaminante de gas de cloro establecido por la Intendencia de Asuntos de Seguridad y

Salud (OSHA) de USA es una medición de 1 ppm en 8 horas. Por el olor, el gas cloro puede ser detectable en el aire de 2 a 4 ppm, dependiendo en las diferencias individuales; en dichos niveles puede ser detectado por la prueba de vapor de amoníaco: (Rociar una fuerte solución acuosa de amoníaco de grado comercial (sea 26°) cerca de la supuesta fuga. En presencia de vapor de cloro, se formará una nube densa de cloruro de amonio y cristales NH_4Cl).

Los efectos dañinos de la exposición al gas cloro comienzan a manifestarse a aproximadamente 5 ppm y más. Sin embargo, entre 5 y 10 ppm, estos efectos (asfixia, tos, ojos llorosos, leve irritación cutánea, irritaciones pulmonares) son temporales. A niveles más altos, dichos efectos se hacen permanentes y pueden causar la muerte.

Ya que todas las formas comúnmente usadas de cloro son peligrosas, no hay ninguna diferencia relativa de seguridad entre ellas. Las precauciones necesarias para cada químico son distintas pero no menores. El personal administrativo de la planta debe desarrollar y practicar medidas de seguridad que incluyan el uso de aparatos para respiración auxiliar, el uso de paquetes de reparación, procedimientos de neutralización y planes de evacuación, además de asociarse con instituciones locales como bomberos, policía y servicios médicos de emergencia.

VI.1.4 DIOXIDO DE SULFURO

El dióxido de sulfuro es el agente desclorinador que más se usa comúnmente, se transporta como líquido comprimido y se usa como gas. Es corrosivo y reactivo y, a diferencia del cloro, causa efectos severos en el sistema nervioso central. Su reactividad puede ocasionar serios problemas cuando el lugar está equipado con una unidad clorinadora/sulfuradora, ya que la reacción puede ser muy violenta si uno de los gases se introduce inadvertidamente en el alimentador mientras el otro está presente. Dichas unidades no deben ser usadas a menos que exista una instalación de purga por medio de aire seco o de un gas neutral como el nitrógeno.

VI.2.2 INSTALACIONES DE MANEJO DE CLORO Y DIOXIDO DE SULFURO

A) TRANSPORTACION Y ENTREGA

Los operadores de las plantas de tratamiento en donde se utilizan químicos peligrosos deben de estar totalmente familiarizados con los reglamentos locales sobre la transportación de estos químicos. El hipoclorito de calcio está clasificado como un oxidante rápido y corrosivo. El hipoclorito de sodio es un agente corrosivo. El gas cloro, como dióxido de sulfuro, es un gas corrosivo no inflamable bajo presión.

Las especificaciones deben de estar presentes cada vez que se transporte cualquier químico. Si se trata de una entrega del fabricante o de un distribuidor, las responsabilidades de estas especificaciones son de la compañía, pero si la planta de tratamiento está transportando químicos entre instalación e instalación, la planta es responsable de esas especificaciones.

Dichas especificaciones deben de incluir la información del origen del embarque, el destino, el tipo de químico, y la ruta a seguir. Este documento debe guardarse en archivo y el vehículo donde se va a transportar debe llevar una copia actualizada de éste. El chofer de este vehículo debe estar al tanto de esta información y de todas las precauciones de seguridad, ya que probablemente él sea la primer persona que se enfrente a una situación de accidente.

Las siguientes precauciones deben de observarse durante el transporte y la entrega:

- Los vehículos que carguen más de 450 kg. (1000 lb) de químicos deben de llevar el símbolo de precaución estándar en forma de diamante, ya sean transportistas comerciales o vehículos de agencia.
- Los cilindros de gas deben de estar seguros mientras sean transportados por medio de bloques y sillas. Los cilindros que pesen 70 kg. (150 lbs) o más deben ser transportados verticalmente.

- Si la entrega de cloro y dióxido de sulfuro se hace a través de un camión, éste debe estar completamente parado mientras se descarga. Si se produce una fuga de cloro mientras se descarga, la combinación de cloro y de monóxido de carbono del tubo de escape forma fosgeno, un gas mortal que impide la absorción de oxígeno en la corriente sanguínea.
- Si se utiliza un montacargas éste debe estar equilibrado para recibir el peso completo, y los cables o cadenas no deben estar dañados ni desgastados. No se deben de colocar los dedos ni ninguna otra parte del cuerpo en los puntos de engranaje, y los operadores nunca deben subir o balancearse en el montacargas.
- Un cilindro de 70 kg. (150 lbs) nunca debe ser alzado por el "gorro".
- Nunca debe moverse un cilindro sin que la cubierta de seguridad esté en su lugar.
- Nunca debe dejarse caer o golpear un cilindro de cloro o de dióxido de sulfuro.
- El área de almacenamiento del cloro debe estar provista con la señalización adecuada a las leyes y reglamentos locales, estatales y federales; dicha área debe estar despejada de cualquier persona que no participe en la descarga de los cilindros de cloro o dióxido de sulfuro.
- La temperatura de los cilindros no debe exceder ni acercarse a los 70°C (158°F) temperatura a la cual están diseñados los contactos fundibles para prevenir la ruptura hidrostática. Sin embargo, nunca debe rociarse agua sobre un cilindro para hacer que éste se enfríe. Todos los contenedores deben de almacenarse en un área bien ventilada, lejos de cualquier fuente externa de calor y de los rayos directos del sol.
- En caso de derrame de uno de los cilindros, se debe contar con el uso inmediato de aparatos de auxilio respiratorio y con un equipo adecuado de restauración de cilindros del Instituto del Cloro de USA (del tipo "A" para cilindros de 70kg (150lbs); del tipo "B" para cilindros de una tonelada; y del tipo "C" para camiones, coches y remolques de tanque). No se recomienda el uso de máscaras de gas contra la inhalación de cloro.

- Siempre se debe tener a la mano un respirador de emergencia cuando se trabaja con cilindros de cloro o de dióxido de sulfuro.
- También se recomienda el uso de protección para los pies durante la manipulación de los cilindros.

VI.2.2. INSTALACIONES PARA EL MANEJO DE CILINDROS DE 70KG (150LBS)

El diseño de todas instalaciones debe incluir un espacio adecuado para un área de descarga de cilindros de sulfuro o dióxido de sulfuro. Los vehículos usados para transportar los cilindros deben de estar equipados con un estante apropiado que mantenga los cilindros en posición vertical, con cadenas para asegurarlos y con una puerta levadiza. Si es posible, debe construirse un muelle elevado de carga y una rampa interior para permitir que los cilindros sean transportados sin tener que alzarse manualmente cuando no existe una puerta levadiza en el vehículo.

Una instalación bien diseñada tendrá dispositivos de salida de emergencia en todas las puertas, que a su vez, deben estar diseñadas para abrirse hacia afuera. Todos los cuartos de una instalación en donde se almacenen cilindros de gas cloro o dióxido de sulfuro que se muevan bajo presión, deben de estar bien ventilados y contar con un detector de gas. Ya que los gases son más pesados que el aire, se recomienda utilizar un soplador de techo y ventilas en el suelo. El detector de gas debe estar sincronizado con el ventilador y con las alarmas.

Las puertas deben tener un microswitch entrelazado que automáticamente encienda las luces y el ventilador al momento en que las puertas se abran en el edificio. Se debe contar con un manual de control que especifique todo lo anterior, y este debe estar cerca de las puertas en la parte exterior. También debe de haber una ventana de vacío en por lo menos una de las puertas de las instalaciones.

Así mismo, los aparatos de respiración auxiliar y el equipo de reparación de cilindros deben estar colocados en la pared exterior del edificio, cerca de la puerta. Los señalamientos de emergencia apropiados, deben de ir al frente y en todo lado visible. Los aparatos de respiración y el equipo de respiración no deben de estar cerca de las ventilas del suelo, ya que en el caso de una fuga, estarían muy poco accesibles.

Las instalaciones deben de ser edificios planeados con minuciosidad. Ningún otro objeto debe almacenarse en ese lugar, y tampoco debe llevarse a cabo ninguna labor que no esté relacionada con el manejo de los cilindros de cloro o dióxido de sulfuro. La bodega de almacenaje y el cuarto de alimentación de cloro deben estar bien iluminadas y tener espacio suficiente para maniobrar.

Una instalación para cilindros de 70kg (150lbs) debe estar equipada con, al menos, una plataforma rodante para mover los cilindros. Jamás se debe rodar un cilindro por el suelo. Se debe asegurar la existencia de estantes tipo botella para colocar los cilindros, y éstos deben estar bien asegurados al suelo o a la pared. Si se usa una báscula, debe de haber un foso especial para que el cilindro se pueda rodar fácilmente hasta ella sin tener que levantarlo.

Las instalaciones para cloro y dióxido de sulfuro deben de contar con sistemas adecuados de calefacción y enfriamiento para lograr que la temperatura permanezca entre 18° y 43°C (65° y 110°F). Esto es imprescindible sobretodo para los sistemas de dióxido de sulfuro, ya que la máxima retracción del dióxido de sulfuro se obtiene solamente a temperaturas de 18°C o mayores, y si el lugar se mantiene a 21°C (70°F) o más, no se hará necesaria la vaporización adicional.

Así mismo, se recomienda tener una mesa de trabajo, bancos y los accesorios necesarios para el mantenimiento del equipo de clorinación o de sulfurización. Si alguna instalación requiere un clorinador o sulfurizador más grande y que no sea de montura manual de cilindros, se recomienda que los gabinetes de control del cloro y del dióxido de sulfuro se localicen en un cuarto distinto al de almacenaje de cilindros.

VI.2.3 INSTALACIONES PARA CONTENEDORES DE UNA TONELADA

Este tipo de instalaciones implica el mismo tipo de requerimientos de espacio adecuado, accesorios de seguridad, luz y ventilación que el de las instalaciones más pequeñas, pero se deben agregar algunas cosas más.

Los contenedores de tonelada nunca deben de rodarse sobre el suelo. Una instalación bien diseñada tendrá un montacargas de monoriel elevado de por lo menos dos toneladas de capacidad y debe tener una carretilla con motor. También el montacargas debe tener motor, y el monoriel debe ser lo suficientemente largo como para permitir la descarga del contenedor desde el vehículo de entrega para colocarlo después en su plataforma de almacenaje o en posición para alimentación sin que haya que rodarlo por el suelo.

Los contenedores que no se vayan a usar en ese momento tienen que permanecer almacenados ya sea en las plataformas correspondientes o en muñones. Cualquier báscula para cilindros de 1 tonelada debe estar diseñada tomando en cuenta el muñón. Este requerimiento se debe a la necesidad de rotar el cilindro para que las válvulas en el contenedor de 1 tonelada permanezcan en plano vertical para alimentación de gas o de líquido. Se recomienda el uso de cadenas que los sostengan, para los que están en uso y para los almacenados, sobre todo en áreas donde existe riesgo de sismicidad, para que de esta manera se pueda prevenir que rueden o que sufran un descalabro.

Los Manifolds y los mecanismos que lo conectan no deben de ir por el suelo y, de ser posible, no deben de ir más allá del mismo cuarto. La tubería de vacío puede ir entre la pared, pero no la tubería de presión, sin el uso de válvulas que reduzcan la presión y rastreen el calor.

En cualquier instalación de cloro o dióxido de sulfuro, todas las guarniciones eléctricas deben de ser a prueba de explosiones y de fugas de gas, y los conductos deben ser resistentes a la corrosión. Así mismo, se debe tener un drenaje apropiado para cada cuarto de la instalación en donde haya acceso al agua de las tuberías, sobretodo para las tuberías de soluciones inyectoras, ya que es imperativo poder limpiar un derrame de ácido lo más pronto posible.

VI.2.4 INSTALACIONES PARA EL VAPORIZADOR (EVAPORADOR)

Los vaporizadores para cloro o dióxido de sulfuro son bañeras calentadas eléctricamente que rodean una cámara resistente a la corrosión en la que se introduce el químico hecho líquido, y fuera de la que el cloro o dióxido de sulfuro se produce como un

gas. Los vaporizadores están sujetos a concentrar las impurezas que se hallan en el cloro o en el dióxido de sulfuro líquido, por lo tanto, deben de limpiarse constantemente y colocarlos en un espacio adecuado, de manera vertical para permitir el retiro de la bañera y la cámara de la unidad y así poder limpiarlos. En algunas instalaciones se pueden tener una puerta con techo de mampara y una grúa externa para poder retirar la cámara.

Los cilindros de cloro o de dióxido de sulfuro no deben estar juntos con los manifolds si lo que se va a retirar es líquido, ya que es posible que el reflujó puede sobrepresurizar el cilindro. Si en un periodo corto de tiempo se requiere una alimentación de más de 900kg (2000lbs), debe utilizarse un sistema de intercambio de líquido.

Los sistemas de tubería de vaporización deben ser tan cortos como también prácticos, y deben de tener las siguientes características: válvulas de apagado manual; cámara de expansión protegida de ruptura de disco, con alarma; calibradores de presión y de temperatura; válvula automática para reducir la presión, con un by-pass manual; válvula y respirador de aligeramiento de presión; y tubería de rastreo de calor (eléctrica) si el evaporador se localiza afuera de la puerta.

VI.2.5 INSTALACIONES PARA CAMION TANQUE, CARRO TANQUE Y TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para tener la seguridad requerida, las instalaciones de gran capacidad de almacenaje deben de localizarse lejos de áreas densamente pobladas. Se debe proveer estas instalaciones de alguna clase de equipo de neutralización de cloro o de dióxido de sulfuro, o bien, algún medio de dispersión rápida de cloro líquido en caso de que haya un derrame importante.

VI.2.6 OTROS REQUERIMIENTOS ESPECIALES

El equipo de clorinización y desclorinización viene con conexiones para respirador o escape para prevenir la sobrepresurización del equipo. Estas conexiones deben de ir separadas y hacia el exterior, hacia abajo, y protegidas para prevenir que los insectos entren a la tubería.

Los calibradores de presión y los de vacío (o aspiración) que se usan en las tuberías de alimentación de cloro o de dióxido de sulfuro deben ser de diafragma protegido. Las válvulas en la tubería de presión deben ser las autorizadas para tal efecto, así como dicha tubería debe fabricarse bajo los estándares. La tubería de vacío debe estar fabricada con PVC de clase 80, soldada contra solventes, y las válvulas deben de ser de PVC del tipo esfera. No se debe usar piezas y válvulas de metal en la tubería de vacío.

Generalmente, la presión de inyección de agua debe obtenerse a través de bombas de inyección. Se recomienda, si es posible, usar bombas centrífugas en vez de turbinas, por la explicación mencionada en el capítulo V.

VI.3 OPERACIÓN

Los operadores deben de tener en cuenta las siguientes precauciones cuando conecten los cilindros a los manifolds. Siempre se debe usar una válvula de aislamiento de cilindro en ambas terminaciones de cualquiera de los conectores flexibles.

Siempre se debe reemplazar cualquier conector flexible si se decolora, se riza, o emite crujidos o rechinados. Si sucede esto último, debe desecharse de inmediato ya que el conector puede romperse sin que haya otra señal que lo indique, ya que la corrosión interna desgasta el metal.

Se debe usar un respirador contra cloro cuando se cambian los cilindros, y todas las válvulas deben de cerrarse antes de separar las conexiones en la tubería de presión. El uso de demasiada presión para cerrar las válvulas de un cilindro, las válvulas de aislamiento o las del cabezal puede dañar la superficie sellada y provocar una falla prematura de válvulas. Si las tuberías se dejan al aire libre, la humedad entrará en el clorinizador o en el sulfurizador, y provocará una corrosión innecesaria y los consecuentes arreglos costosos.

Para retirar gas de un cilindro de una tonelada, siempre se debe conectar el conector flexible a la válvula superior, la cual debe de estar, desde la vertical, a las 12 de las manecillas del reloj. Si esto no se lleva a cabo exitosamente, habrá un retiro indeseable de líquido. Nunca se debe operar un cilindro de 70kg (150lbs) sobre su lado.

Cuando se encienda un sistema, primero debe operarse el inyector para evacuar cualquier residuo de aire húmedo que haya entrado en el equipo y así determinar que el sistema está al vacío. Después, el gas debe introducirse en el sistema, y éste debe revisarse para que no haya fugas.

Nunca debe operarse un sistema (ni continuar operándose) si existe un derrame o fuga, o si un componente no está funcionando. Se debe tener un equipo de repuesto para permitir que el equipo que no está funcionando sea reparado de inmediato.

Se debe operar el equipo primero de modo manual para determinar si los sistemas hidráulicos, de vacío y de presión están funcionando correctamente. Sólo entonces, se debe operar de modo automático.

VI.4 MANTENIMIENTO DEL CLORINADOR Y SULFURIZADOR

El operador y el personal de mantenimiento siempre deben de tener a su disposición un abastecimiento adecuado de partes de repuesto y los manuales más importantes de operación y de instrucciones. Nunca se debe intentar reparar el equipo si no se tiene el entrenamiento necesario o las herramientas y partes adecuadas.

Si no se tiene un equipo de repuesto, el operador debe desarrollar un plan de emergencia para asegurar la desinfección en caso de falla del equipo en uso.

Cuando se le vaya a dar servicio al equipo, la persona entrenada para darle mantenimiento debe de leer de nuevo los manuales antes de comenzar cada vez que trabaje con el equipo. Esta revisión puede evitar algunos de los errores más comunes que se cometen en las reparaciones.

Las instrucciones del fabricante siempre deben de ser revisadas, y si hay alguna duda, se debe llamar al fabricante antes de comenzar cualquier reparación.

El arreglo exitoso de algún problema depende de su correcta identificación. Se puede primero especular sobre el posible desperfecto; antes que nada hay que aislar las posibilidades obvias: pérdida de abastecimiento del cloro, válvulas que no estén abiertas,

que no se haya creado vacío o que éste se pierda por alguna fisura en las tuberías. Si alguna de estas causas no se evidencia, la mejor solución es llamar a algún encargado de servicio del fabricante.

También hay que revisar si los alimentadores no tienen algún problema. Si llegara a ocurrir un desperfecto en estos últimos, puede significar que el problema está en la parte superior (en el abastecimiento del gas) o abajo (en los inyectores hidráulicos), y no en el clorinador.

Se puede utilizar agua para limpiar la mayor parte de la superficie de los clorinadores y sulfurizadores, aunque puede ser necesario el uso de ácido muriático diluido para quitar algunas manchas difíciles y concentraciones de impurezas. Sin embargo, a pesar del método de limpieza que se use, los componentes deben de estar totalmente secos (se recomienda utilizar aire seco comprimido o nitrógeno) antes de volverlos a colocar. Se debe revisar cuidadosamente cada uno de los componentes para asegurar que no haya residuos orgánicos; si los hay, habrá que retirarlos en su totalidad.

Si en algún momento, el técnico de mantenimiento o el operador no saben exactamente el procedimiento a seguir, deben de interrumpir la reparación y pedir ayuda al personal de mantenimiento de la fábrica. Un equipo que no se repare adecuadamente puede ser más peligroso que cualquier otro tipo de desperfecto.

Los componentes de los sistemas de clorinación y desclorinación que con mayor frecuencia necesitan reparación son los de la tubería múltiple de presión, sobretudo los conectores flexibles y las válvulas, y los sistemas de inyección y de solución. Por lo tanto, estas dos partes del sistema deben de estar sujetas a un mantenimiento preventivo lo más riguroso posible. Se hace énfasis en hacer una revisión de estas partes del sistema por lo menos cada seis meses. Así mismo, se recomienda el reemplazo de diafragmas y juntas de los inyectores cada dos años. El reemplazo de las llaves dependerá de los requerimientos específicos del fabricante.

Cualquier conexión de junta de presión debe de tener una junta principal nueva cada vez que la unión se rompa. No se recomienda el uso de juntas de fibra de asbesto ya

que no sellan adecuadamente. Las juntas usadas deben desecharse inmediatamente y no volverse a usar.

VI.5 SELECCIÓN DE ACCESORIOS

Luego de haber seleccionado el clorinador, habrá que escoger los accesorios para completar la instalación. Es difícil recomendar los accesorios exactos para cada tipo de instalación ya que éstos pueden ser artículos pequeños, como válvulas auxiliares de repuesto para el tanque, hasta equipo de mayor envergadura, como son los analizadores de cloro residual. Además, las necesidades varían según el tipo y tamaño del sistema, la adecuación del personal, los requerimientos de las autoridades locales de salud y el tipo de equipo de clorinación.

Sin embargo, en la planeación de cualquier instalación, se debe prestar atención especial al asunto de los accesorios ya que la adecuación de artículos pequeños puede tener consecuencia directa tanto en la efectividad del equipo de clorinación como en la habilidad del operador para llevar a cabo sus tareas de manera eficaz.

Entre los accesorios más comunes para un clorinador que hacen más fácil el trabajo del operador y facilitan la efectividad de la clorinación.

- Aparatos de alarma

Existen varios tipos de estos aparatos que indican problemas potenciales, incluyendo niveles altos o bajos de agua o de presión de cloro, y alto o bajo vacío en la operación del clorinador.

- Analizadores de residual de cloro

Estos miden automática y continuamente los residuales de cloro en el flujo que está siendo tratado para poder tener control y monitoreo del proceso de clorinación.

- Sistema de medición de flujo de gas de cloro

Este sistema transmite automática y continuamente una señal 4-20mA para registrar la tasa de flujo de cloro a través del clorinador, asegurando así un registro de la operación del clorinador.

- Distribuidores de solución de cloro
Sirven para aplicar cloro a distintos puntos de aplicación.
- Mascarillas contra gas certificadas
Sirven para proteger al personal en caso de fugas de cloro.
- Válvulas y piezas de armadura
Para tener control adecuado en las tuberías de gas y de agua.
- Básculas para cilindros
Existen varios tipos de básculas para pesar los cilindros de cloro y los contenedores de tonelada, para así tener control del inventario de cloro.
- Detectores de gas de cloro
Estos detectores disparan una alarma cuando detectan niveles inaceptables de gas de cloro en el aire.

Cada uno de estos accesorios maneja sus propios datos técnicos.

VI.6 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO

VI.6.1 INTRODUCCIÓN

Esta parte subraya y describe algunas consideraciones sobre el diseño (distintas a las del proceso de tratamiento) que abarca instalaciones, no únicamente de desinfección; pero que son importantes en el diseño de cualquier proceso (tratamiento primario, secundario y terciario) de plantas de tratamiento agua residual. Aquí se especifica la relevancia de contar con instalaciones auxiliares, seguida de las consideraciones sobre el diseño en las áreas de arquitectura, mecánica, eléctrica y de seguridad. Esta información puede ser sumamente útil para el lector, sin embargo, no pretende ser completa.

VI.6.2 INSTALACIONES AUXILIARES

Las instalaciones auxiliares no se usan para el tratamiento del agua pero son necesarias tanto para habilitar la operación de unidades encargadas de diversos procesos como para albergar a la gente que supervisa, opera y mantiene la planta. Estas incluyen el sistema de energía eléctrica y otros servicios como agua, gas y recolección de basura; las oficinas administrativas, las salas de juntas, los laboratorios y las instalaciones de mantenimiento, y también los artículos que se relacionan con el trabajo en ese lugar y que son necesarios para hacer habitable la planta. Con frecuencia se requiere un espacio para recibir grupos grandes o pequeños de público.

Las plantas, ya sean municipales o privadas, reciben normalmente grupos de escolares, estudiantes universitarios o profesionistas. En total, las instalaciones auxiliares pueden representar del 15 al 35 por ciento del costo total de una planta de tratamiento de agua residual. Se puede planear el laboratorio de forma que se pueda realizar análisis de muestras del sistema de distribución o pruebas físicas del material de construcción. El cuarto de control puede operar estaciones de bombeo remoto y aquellas en la planta de tratamiento. Se puede construir un estacionamiento que albergue los vehículos de trabajo y los de los visitantes. En muchos casos, la experiencia muestra el valor de dejar espacio para funciones adicionales.

Las medidas de las estructuras auxiliares son generalmente proporcionales a la capacidad de tratamiento de la planta. Por lo pronto, una planta pequeña puede tener un solo cuarto para el escritorio del superintendente, el panel de control, los archiveros y un pequeño laboratorio capaz de realizar una media docena de análisis. En contraste, una planta grande puede tener varias oficinas administrativas, cuartos para laboratorios, un cuarto únicamente para las funciones de control, y un cuarto que sea para archivo. De igual modo, las instalaciones de mantenimiento pueden variar de algunos cuantos gabinetes para herramientas a un número mayor de talleres especializados y bien equipados.

Con frecuencia, los visitantes juzgan una planta de tratamiento por sus instalaciones auxiliares y no por sus elementos más importantes, que son las unidades que procesan el agua. Hasta cierto punto, esto se debe a que no se puede observar el

funcionamiento completo de estas unidades. Un ejemplo es que las partes más esenciales de un filtro no pueden verse. Y sin embargo, un laboratorio, un cuarto de control o un salón de entrada pueden ser fácilmente inspeccionados.

Las deficiencias del diseño de las instalaciones auxiliares son mucho más visibles que las del diseño de los procesos y, desafortunadamente, son más evidentes para los visitantes y para aquellos que autorizan los fondos del capital y de la operación. Hasta pequeños detalles que no interfieren con la operación pueden dar una mala impresión. Algo tan insignificante como el drenaje de piso puede parecerles a algunos una pequeña fuga de agua en el suelo, y a otros, una inundación ofensiva si es que se mojó los zapatos allí. Contar con una instalación auxiliar bien diseñada y funcional es esencial para la imagen que se da al público de una planta de tratamiento de agua residual.

VI.6.3 CIVIL

Además de tener un despliegue eficiente de la planta con espacio adecuado para expandirse, el ingeniero debe prever suficientes áreas pavimentadas para estacionamiento y acceso al inmueble.

A) ESTACIONAMIENTO

El diseño de la planta debe incluir espacios adecuados para estacionamiento de visitantes, empleados y vehículos de entrega. Es preferible que el estacionamiento para empleados esté alejado de la entrada principal y cerca del acceso a regaderas, lockers y otras instalaciones similares. Esto reducirá el tránsito cerca de las áreas administrativas y públicas y realzará el valor estético de la planta. Si es posible, las áreas administrativas deben de estar suficientemente cerca de la entrada principal, no solamente por conveniencia para los visitantes, sino para tener control del acceso de los mismos.

B) ACCESO

La infraestructura de los caminos en cualquier planta deben ser útiles tanto a los vehículos ligeros como a los camiones de transporte de químicos y grúas. Se deben de planear pasos a desnivel para el acceso de este tipo de vehículos. El radio de las curvas debe ser lo suficientemente amplio como para permitir que los camiones se mantengan

en áreas pavimentadas en toda circunstancias. Otras consideraciones incluyen camiones de bomberos, bocas de riego e intercomunicadores.

VI.6.4 CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS

A) INSTALACIONES ADMINISTRATIVAS

El tamaño y tipo de instalaciones administrativas varía de una planta a otra. Aunque las plantas más grandes requieren áreas administrativas de igual tamaño, las necesidades y las circunstancias especiales de cada planta determinará el tamaño de estas instalaciones.

El espacio de oficinas, por ejemplo, puede variar de un sencillo escritorio para el operador en cualquier área, hasta oficinas de mayores proporciones que requieren consideraciones de diseño especiales. Para cualquiera se debe prever un espacio adecuado para guardar archivos. Estos archivos incluyen contratos y planos de diseño de los talleres de la planta, manuales operativos, documentos de compra y de personal, así como historiales de operación que incluyen mapas y libro de anotaciones.

Si se requieren espacios adicionales, dependiendo de las circunstancias de cada planta, éstos pueden incluir lo siguiente:

- Un área de recepción para los visitantes. En instalaciones grandes es común tener grupos de escolares, scouts o grupos civiles.
- Un auditorio con asientos adecuados que puedan ser utilizados para ceremonias, conferencias internas y otros eventos públicos. Este espacio puede ser un pequeño auditorio, equipado con escenario y equipo de sonido e iluminación, un podium para oradores y equipo para presentaciones audiovisuales; o bien, puede ser un espacio multifuncional, como un comedor con plataforma, sillas y mesas plegables. Este tipo de espacios puede funcionar durante horas de trabajo como comedor para empleados o área de descanso, y en otras ocasiones, como área de recepción.

- Un salón de clases. La necesidad de un área de este tipo dependerá de cada planta. Una instalación nueva o ampliada puede necesitar espacio para entrenamiento de personal. En algunas circunstancias, otros espacios que cumplen distintas funciones se pueden adaptar como salón de clases.

B) ACCESO PARA DISCAPACITADOS

Es importante tener instalaciones para personas discapacitadas; es más, sería bueno contratar personas discapacitadas que estén calificadas para trabajar. Como ejemplo, las instalaciones podrían incluir rampas para sillas de ruedas, ascensores especiales, y baños más grandes.

C) LABORATORIO

Generalmente se requieren pruebas de laboratorio para las aplicaciones que afectan el proceso de control, el control de costos, los datos históricos o los requerimientos de agencias reguladoras. Es preferible llevar directamente la tubería de muestra al laboratorio donde se analizarán las muestras. Normalmente se instala un lavabo para muestras en el laboratorio, con muestras de agua provenientes de diversas partes del proceso que fluyen ininterrumpidamente (hacia desecho) para acceso inmediato a las muestras. Aunque el laboratorio de la planta de tratamiento esté a cargo de realizar los análisis de todo el sistema de agua, se debe tener un espacio adecuado para recibir las muestras y preparar los contenedores.

C.1) ESTIMANDO NECESIDADES DE LABORATORIO

Los principales factores al estimar las necesidades del laboratorio de la planta de tratamiento son los requerimientos para personal, espacio, equipo, suministros y químicos. Una disposición eficaz y materiales adecuados son las consideraciones más importantes.

Cuando se calculan los requerimientos de personal, se aconseja hacer una lista de los análisis a realizar y la frecuencia con que se hacen. La experiencia, el juicio o la observación obtenida de plantas de tratamiento en actividad permiten calcular el número anual de horas-hombre requeridas para la instalación que se está proyectando.

Se debe de poner especial atención a ciertos factores que afectan los requerimientos de personal, tales como:

- El tipo de equipo de laboratorio que se va a usar
- El alcance del monitoreo automático y de los instrumentos de registro
- La cantidad de trabajo de laboratorio que se hace en otros laboratorios
- El nivel de entrenamiento del personal de laboratorio

Una vez que se ha estimado la cifra anual de horas-hombre, se puede determinar el número de personas que estarán involucradas considerando la cantidad de horas-trabajo de cada persona.

La planeación del espacio de laboratorio incluye la estimación del área de piso del laboratorio, el área de bancos y el volumen de los gabinetes. Una estimación inicial del espacio de piso puede andar entre 18.6 a 27.9 m² por miembro del equipo. Estas estimaciones se pueden revisar una vez que se haya hecho el trazado y que se conozcan los requerimientos de equipo.

Se puede pensar que el área de bancos de trabajo sea entre el 30 y el 40 por ciento del espacio total de piso. El volumen de los gabinetes se puede estimar inicialmente entre 5.7 a 7.1 m³ por miembro del equipo. Se debe tener en mente un lavabo por cada 7.6 a 9.1 m de largo de banco. Los receptáculos eléctricos deben de tener un espacio entre sí de 0.5 m. entre los bancos que se usan para realizar las pruebas de laboratorio. En laboratorios grandes debe de haber aire comprimido y tubería de aspiración sobre el área de los bancos, pero en laboratorios más pequeños basta con una bomba de aspiración.

Se debe de seleccionar el equipo y los suministros en base a la frecuencia de las pruebas, de la sofisticación de los procesos de la unidad, a la relación costo-eficacia, y al deseo de lograr una actividad óptima de la planta. La selección de los equipos más importantes se puede hacer siguiendo las recomendaciones de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA) de su manual de métodos estándar del Manual AWWA M15. El resto del equipo para uso general del laboratorio debe por lo menos asegurar la operación

adecuada del laboratorio. Las necesidades de químicos deben de estar basadas en las cantidades requeridas para análisis durante un periodo dado. Las políticas sobre embalaje de los fabricantes de químicos y las fechas correctas de almacenaje deben de servir como guía para la selección de cantidades mínimas de químicos.

C.2) OPERACIÓN DEL LABORATORIO

Una operación eficaz del laboratorio depende en gran medida en el trazo del mismo. A la hora de considerar la planeación del trazo físico se debe de tomar en cuenta la flexibilidad, la adaptabilidad y la capacidad de expansión. Es preferible planearlo hacia el norte para tener una mejor exposición a la luz natural. El laboratorio debe estar localizado lejos de cualquier máquina que vibre o del equipo que pueda afectar el funcionamiento de los instrumentos del laboratorio. Los instrumentos sensibles deben de estar en un cuarto separado o alejado de los principales centros de actividad. Así mismo, es recomendable colocar en otro lugar el equipo que produzca vapor o que represente algún peligro, como hornos y chimeneas.

Muchos laboratorios están divididos en sus funciones química y biológica, y a veces funciona también separar las pruebas físicas. Otros, simplemente tienen áreas de trabajo separadas que pueden compartir equipo en común.

En el trazo de los planos se debe planear con cuidado la acomodación del equipo. Las partes de equipo que se usen para pruebas comunes deben de estar cerca para eliminar movimiento inútil en el laboratorio. Sin embargo, el área de los lavabos no debe de estar cerca de los instrumentos.

La seguridad debe ser la primera consideración en el trazo del laboratorio. Los botiquines, extinguidores, mantas para apagar el fuego y las regaderas de emergencia deben de estar localizados cerca de las áreas principales de trabajo. El espacio mínimo permitido entre los bancos de trabajo debe de ser de 1.2 m. La altura mínima debe ser de 2.6 m. Las áreas de almacenamiento de difícil acceso deben reservarse para materiales y químicos no peligrosos. Las bases y los ácidos fuertes deben de almacenarse en un lugar que esté al alcance del personal del laboratorio.

VI.6.5 INSTALACIONES DE MANTENIMIENTO

A) TALLERES DE REPARACIÓN

De nuevo, el tamaño y número de talleres de reparación se relaciona con el tamaño de la planta. Los vehículos automotores deben de tener acceso fácil a los talleres de reparación, para que de esa manera los aparatos voluminosos y molestos se puedan mover sin dificultad. Las puertas deben de ser lo suficientemente anchas como para permitir que el equipo entre y salga. Idealmente, el taller de reparación se localiza junto al equipo que se repara con frecuencia, que suele ser el equipo de alimentación de químicos. El mantenimiento del equipo de bombeo se hace generalmente en las bombas, ya que se trata principalmente de mantenimiento eléctrico y de instrumentos.

Donde se pueda garantizar el tamaño de la planta y cargas de trabajo de mantenimiento anticipadas, se debe de tener talleres eléctricos y de pintura separados. La reparación eléctrica requiere de un alto nivel de limpieza. Los solventes de pintura son inflamables, y la prudencia nos dice que esta área debe estar protegida de chispas y llamas.

En todos los talleres es necesario un espacio adecuado para bancos y mesas de trabajo. Estos deben de ser pesados y robustos para que aguanten el trabajo rudo. Los cajones pequeños de las mesas de trabajo son útiles para guardar partes pequeñas y herramientas de mano. Las herramientas usadas para los tornos de banco deben de estar cercanas a éstos. Estas herramientas en particular son llaves, tarrajas, troqueles, roscas de tubería, taladro de motor eléctrico y otros componentes. La iluminación sobre las mesas debe ser buena pero no intensa, se puede necesitar otro tipo de iluminación para modular la intensidad de la luz, y varias salidas de conexión en la pared que esté detrás de las mesas y bancos.

Un punto que con frecuencia se olvida en los talleres de reparación es la necesidad de usar agua y drenaje para el agua de desecho. Con frecuencia, las pruebas de los tanques de solución para alimentación de las máquinas, de los inyectores en los clorinadores o de los mezcladores eléctricos causan derrames de agua. Es aconsejable que el taller de reparación tenga un área de drenaje en una esquina o al final del lugar,

delimitado por un borde de concreto, en donde se puedan hacer pruebas con líquidos. Se debe instalar una coladera de piso en el punto más bajo del suelo.

B) HERRAMIENTAS

Se requerirá una gran variedad de herramientas. Para reparación y mantenimiento de equipo se necesitará herramienta pesada, una prensa de taladro, molino, un montacargas portátil, una bomba portátil, un aparato para soldar, planta de luz móvil y, si está garantizado, un operador de válvula portátil. Las herramientas eléctricas deben ser para trabajos de fontanería, automotrices, de iluminación, de pintura, de carpintería, de metalurgia y de albañilería. Se deben incluir engrasadores de presión, aceitadores y lámparas de aceite. Para la limpieza se necesitarán escobas, trapeadores, cubetas y aspiradoras. Para el mantenimiento exterior habrá que tener carretillas, rastrillos, palas, mangueras, rociadores de césped y una podadora eléctrica para las áreas verdes.

C) PARTES DE REPUESTO

En las plantas suficientemente grandes, las partes de repuesto deben almacenarse en un lugar separado que debe de estar cerrado para tener acceso a control de inventariado. El cuarto de almacenaje debe tener una sección de cajones, un buen espacio para estantes y rejillas en las que se puedan guardar juntas, alambres y telas de uso rudo. Algunos diseñadores prefieren tener las partes de repuesto en un lugar cercano al punto de uso. Por ejemplo, las partes de repuesto del clorinador se guardan en un gabinete cercano o en el cuarto del clorinador, junto con equipo especial de prueba y de protección.

VI.6.6 INSTALACIONES DE PERSONAL

Generalmente se prevén lockers y regaderas para cada uno de los trabajadores de la planta, y éstas se encuentran en el mismo lugar. Si se va a contratar a personas discapacitadas, se deben incluir áreas de descanso, regaderas y lockers especiales. Un comedor para el personal no sólo mejorará la moral de éste, si no que simplificará el aseo y ayudará a eliminar plagas como ratones o cucarachas. El comedor debe estar equipado con una cocina pequeña.

Si se tiene la necesidad de programas de entrenamiento de personal, habrá que planear un área especial para este fin, y de preferencia debe estar en las áreas administrativas de la planta. Si hay un espacio lo suficientemente amplio para este objetivo, se puede equipar con una pantalla para proyecciones, un pizarrón y con una tabla química de demostración. Así mismo, se debe tomar en cuenta los artículos necesarios para tomar notas, como son los escritorios que se usan en las escuelas.

VI.6.7 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LAS INSTALACIONES

A) ACABADOS

Los acabados para los interiores de la planta, sujetos a límites de presupuesto, deben de servir a las funciones de cada área y ser de mantenimiento fácil. Los acabados típicos para áreas administrativas, de control y de operación de filtros son: yeso, paredes de azulejo, pisos con alfombra o con azulejo, techos acústicos suspendidos y pintura o acabados de yeso en las paredes.

En áreas donde no se necesitan acabados tan atractivos, como las de alimentación de químicos o estaciones de bombeo, se pueden poner algunos que no sean igual de costosos. Se pueden colocar pisos y paredes de azulejos más burdos, pintura sobre concreto y yeso. En áreas donde la limpieza debe facilitarse y donde la apariencia no sea tan importante, como galerías de filtrado y estaciones de bombeo, pueden ser de paredes de concreto o de bloque de concreto con uniones armables, pisos de concreto con endurecedor, bases de cemento, instalaciones al descubierto, aperturas a través del suelo, curvas para que encajen con la base, y las paredes y metales pintados. Las zonas como sótanos o cuartos de calentadores y de tubería no requieren acabados ni bases

No hay restricciones en cuanto a los colores, salvo en el laboratorio en donde debe tenerse cuidado. La determinación de pequeñas concentraciones de minerales en el agua se hace, generalmente, a través de la colorimetría, y la luz reflejada desde varias zonas coloreadas puede interferir con estas pruebas. Los colores que se prefieren en laboratorios son los de tonos pálidos como blanco sucio, gris o azules claros en las áreas donde tenga que llevarse a cabo el trabajo colorimétrico.

Para facilitar el mantenimiento del edificio, se deben planear suficientes salidas eléctricas en los pasillos y en los distintos cubículos. En cada piso del mismo deben existir espacios adecuados para armarios de escobas y trapeadores, además éstos deben de tener un lavadero y espacio para almacenar cubetas y materiales de limpieza.

B) PINTURA

Las superficies de acero que requieren pintura en una planta de tratamiento incluyen mecanismos clarificadores, tuberías en riel, miembros estructurales, tanques de almacenaje y artículos misceláneos de hierro. Se dispone de un gran número de sistemas de pintura. La pintura no tóxica debe usarse para superficies pintadas que están en contacto con el agua potable; estos sistemas deben ser los que se especifican como sistemas de pintura interior.

La durabilidad de la pintura depende, en gran medida, en la forma en la que se prepare la superficie; esto se puede hacer removiendo el óxido, la grasa, el polvo, capas viejas de pintura y sarro. Los métodos de limpieza pueden ser: cepillo de alambre, despostille y raspadura, deslustre con un chorro de arena, acondicionamiento con llama y uso de solventes. El método que más se utiliza es el del cepillo de alambre eléctrico.

Para la pintura decorativa de superficies galvanizadas se requiere de un tratamiento especial para que las capas de pintura se adhieran. La galvanización suave se debe de hacer más burda con un ácido ligero como el fosfórico.

Se puede evitar la mayor parte del trabajo de pintura si se eligen acabados que no requieran de ésta. En los lugares en los que no se requiere la pintura para conseguir un efecto estético, las paredes de concreto y las losas deben de permanecer en su estado natural, o bien, utilizar materiales como ladrillo vidriado o azulejo.

VI.6.8 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO Y DE MANTENIMIENTO

Hay una serie de este tipo de requerimientos que deben ser incluidos en toda la planta de agua residual, particularmente en los cuartos que tengan maquinaria. Debe haber espacio suficiente alrededor de las bombas, de los motores y de la maquinaria para

permitir la reparación eventual. La ubicación del equipo debe permitir espacio adecuado para poner llaves de tuercas. Astas rodantes y partes movibles deben de contar con jaulas o rejillas protectoras, y las astas verticales largas también deben de tener rejillas de seguridad para prevenir heridas de "latigazo" si se llegara a romper una de las astas. Los cuartos de maquinaria y de bombas deben de contar con montacargas fijos o portátiles; se deben tener en cuenta las herramientas para alzar, tales como ganchos en el techo.

VI.6.3 DRENAJE INTERIOR

Una planta de tratamiento de agua residual tiene muchas fuentes potenciales de fugas de agua, las cuales, si no se prevén en el diseño, pueden resultar muy costosas y difíciles de remediar. Una tubería con fugas o una válvula que ocasione la formación de charcos o de agua yendo hacia el drenaje, o que humedezca una pared, es una fuente de irritación para el operador de la planta. Aunque ninguna planta puede estar diseñada para prevenir todas las fugas, si el diseñador no planea un drenaje adecuado, las consecuencias serán evidentes para cualquier visitante de la planta.

Si no existe un drenaje adecuado, las paredes de concreto que contienen agua en uno de sus lados pueden observar fugas y crear molestias. Normalmente, este tipo de situación se da en la galería de tuberías entre los filtros o en la galería entre las fuentes de sedimentación. Es imposible garantizar la total ausencia de fugas en una pared de concreto reforzado aun con la inspección de construcción más cuidadosa o con las especificaciones más rigurosas. Lo mejor es colocar un canal en la parte baja de la pared, planeando que el suelo se incline hacia este canal, que puede estar abierto, o bien, cubierto con una parrilla, pero accesible para la limpieza. Si la apariencia de la pared es importante, las uniones deben de estar diseñadas con selladores, o bien, se puede construir una doble pared.

Las tuberías y las válvulas que tengan empaques en los cañones son una fuente potencial de fugas. La tubería pequeña debe de estar agrupada y, de preferencia, colocada, cerca de una pared que tenga un canal de drenaje en su parte baja. Es recomendable anticiparse a las fugas de todas las válvulas, colocando drenajes de este tipo. Los pisos deben inclinarse hacia estos drenajes en un 2%, siendo la inclinación mínima de aproximadamente un 1%. El mantenimiento de los canales con parrillas

removibles es más sencillo que el de los drenajes circulares conectados con la tubería de tierra. Sin embargo, es más costoso construir canales de drenaje que éstos últimos.

La mayoría de las bombas comunes tienen astas que se extienden a través de una glándula de empaque o sello mecánico hasta la unidad de manejo. Con frecuencia se necesita que exista fuga en las glándulas para permitir la lubricación del empaque. Los sellos mecánicos pueden tener ligeras fugas aun cuando nuevos. Por lo tanto, es necesario tener drenaje desde la base de las bombas. Las fugas de agua provenientes de las bases no deben de irse por el suelo.

Se deben proporcionar los medios para drenar cada tanque o unidad de proceso que contenga líquido. Esto se puede lograr instalando válvulas de drenaje a las salidas de gravedad o a los sumideros de los que puede retirarse el líquido por bombeo. Puede ser más efectivo en cuanto a costos evitar proveerse de válvulas de drenaje y tuberías de conexión, y en vez, usar una bomba portátil para vaciar el tanque. Esto dependerá de la frecuencia en la que se drene una estructura y del costo relativo de las tuberías de drenaje. Cuando se planean las operaciones de drenaje y desagüe, hay que tomar en cuenta la recolección desechos.

VI.6.10 TUBERÍA DE CÓDIGO DE COLOR

Este tipo de tubería es útil por razones de seguridad y propósitos educativos, además de ser una gran ayuda para el trabajo de mantenimiento. El código de color debe ser consistente con otros ya establecidos.

Dónde haya que identificar muchos tipos de tubería, o donde los códigos de color son muy complicados, será preferible marcar el nombre del contenido en cada tubería. En tuberías pequeñas se pueden utilizar etiquetas de metal. También puede ser útil marcar una flecha que indique la dirección del flujo.

VI.6.11 CONTROL DE RUIDO

El control de ruido puede ser necesario, ya sea para reducir el nivel de ruido de lugares vecinos o para evitar problemas de salud del personal. Una planta de tratamiento

demasiado ruidosa resulta ser un mal vecino. Además, el ruido molesto puede ocasionar daños económicos.

La mayoría de los problemas de ruido se pueden solucionar con un diseño cuidadoso sin que se tengan que utilizar métodos acústicos especiales. Todos los motores de combustión interiores y compresores de aire deben amortiguarse. Para los motores se deben especificar sobrecubiertas aislantes. Estas cubiertas también sirven para proteger al personal de posibles quemaduras además de reducir el ruido. Se puede planear que algunos motores eléctricos grandes sean "muy silenciosos"; para esto hay que consultar a los fabricantes de motores. Generalmente, la construcción de albañilería ofrece la mejor resistencia de sonido. Por un ligero costo adicional, se puede tener construcción o acabados absorbentes en paredes y techos de lugares ruidosos. El plano y la acomodación de la estructura pueden tener un efecto considerable en la emisión de ruido si se agrega un "cinturón" de árboles. El nivel de ruido se reducirá 6 decibeles por cada doblaje de la distancia de la fuente del ruido.

El daño al personal debido a ruido excesivo varía con la cantidad de tiempo de la exposición a éste. Muchos diseñadores piensan que es más efectivo en cuanto a costos proporcionar aparatos de protección auricular individuales en vez de reducir el ruido de la fuente.

VI.6.12 CALEFACCIÓN, VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

Generalmente, los códigos estatales o locales de construcción son los que determinan los requerimientos de ventilación, que son el número de cambios de aire por hora en los distintos cuartos de un edificio. Estos códigos pueden variar mucho. Los 10 estándares del estado requieren un cambio de aire por minuto en salas de cloro en uso, y seis cambios de aire por hora en áreas subterráneas en las estaciones de bombeo.

Los motores de combustión interna requieren de una ventilación inusualmente elevada aun cuando el agua de la sobrecubierta se enfríe con un controlador de calor. Además del aire de combustión, estos motores irradian grandes cantidades de calor; en climas calurosos se necesita una excelente circulación de aire para mantener la temperatura de los cuartos de máquinas en un nivel aceptable.

Generalmente, las áreas administrativas como oficinas, laboratorios, comedores y espacios públicos deben de tener aire acondicionado. Las salas de computadoras necesitarán un ambiente especial en el que el aire acondicionado es sumamente importante. Para este fin, sería óptimo tener un sistema separado de aire acondicionado ya que este tipo de salas deben de enfriarse las 24 horas del día.

VI.6.13 DESHUMIDIFICACIÓN

En áreas extremadamente húmedas, es muy recomendable deshumidificar el aire circulante dentro de una planta, ya que de otro modo la pintura, el equipo y los instrumentos se pueden deteriorar rápidamente. Las galerías de tubería de filtración son particularmente susceptibles ya que el agua fría que fluye por las tuberías hacen que éstas últimas y también las válvulas suden. Lo que acelera la corrosión y el deterioro de las capas de pintura. El agua que gotea de las tuberías también es una molestia. Los deshumidificadores de litio son, normalmente, más económicos para grandes áreas, que los deshumidificadores refrigerantes. Algunos químicos, como los polímeros secos, son hidrocópicos y deben de almacenarse en zonas de baja humedad o en lugares que estén específicamente deshumidificados.

VI.6.14 INSTALACIONES DE AGUA Y DE GAS EN LA PLANTA

Abastecimiento de agua en la planta.- El agua para múltiples usos de la planta es primordial, y el diseño de su abastecimiento requiere consideraciones cuidadosas. El retrolavado y el lavado de la superficie de los filtros utilizan la mayor parte del agua de la planta. Se requiere de grandes cantidades de agua a baja presión para el retrolavado, pero los sistemas de lavado de medios normalmente funcionan mejor con menos agua a mayor presión (aproximadamente 80 a 100 psi).

En el consumo de agua, los sistemas de alimentación de químicos ocupan el segundo lugar. Se necesita agua para diluir químicos y, si se usan inyectores, habrá necesidad de agua adicional. Los clorinadores utilizan una gran cantidad de agua, ya que el poder de la solución puede estar limitado a 3500 mg/L, y los inyectores operados con agua se usan para crear un vacío para lograr el retiro (retracción) del gas cloro. Consecuentemente, los inyectores trabajan sin parar.

El agua también se utiliza para los extinguidores, para los rociadores de emergencia, para el lavado de tinas y paredes de filtros, para el riego del césped, lavado de pantallas, retrolavado de coladores, agua de las bombas, válvulas y compuertas operadas hidráulicamente. También, el agua se utiliza para propósitos sanitarios en baños, regaderas, retretes, orinales, lavabos, laboratorios y bebederos.

Se debe de tener cuidado con los sistemas de tubería de químicos, ya que se han registrado serios casos de reñujo. El sistema de agua de la planta se obtiene de un ducto de alta presión, si está disponible, o de una pequeña estación de bombeo separada. Los lavadores de superficies requerirán de un sistema aparte (o de una bomba de inyección) porque necesitan agua de alta presión.

Servicio de gas.- El gas natural puede ser una fuente de energía económica para motores de combustión interna, boilers y hornos de regeneración de carbón. El gas tiene importantes ventajas para los motores de combustión interna en comparación con el uso de gasolina y diesel. La combustión de gas es limpia con menos atascamiento y concentración de carbón. La eficiencia es mayor en función de mayores tasas de compresión. Además, se minimizan los problemas de almacenamiento de combustible si el gas se surte desde un ducto especial para este fin. Una de sus desventajas puede ser la interrupción del servicio; así mismo, se deben de tomar en cuenta el costo a futuro y la disponibilidad. El Código Eléctrico Nacional requiere de almacenamiento en el lugar de combustible para sistemas eléctricos de emergencia. Esta medida excluye el uso del gas natural y deja como opción viable los generadores de reserva. Si el servicio de gas está disponible, debe llegar hasta el laboratorio.

VI.6.15 COMUNICACIONES

Una buena comunicación a través de la planta es esencial para que haya una buena operación, y es una necesidad primordial cuando la planta ocupa mucho terreno. Por lo tanto, debe de haber intercomunicadores en cada punto de operación y también donde se almacena el equipo de operación. Esto agilizará el trabajo de reparación y ahorrará tiempo.

Existen muchos tipos de sistemas de intercomunicación, que van desde los que instalan las compañías telefónicas hasta un sistema común de telefonía que usa códigos y timbres. Los sistemas de altavoces son bastante comunes; estos sistemas de localización deben elegirse según el nivel de ruido en cada estación. Muchas clases de equipo de control remoto pueden servir y mantenerse con la ayuda de un intercomunicador. Si el presupuesto inicial no incluye un sistema de intercomunicación, se aconseja dejar listos los conductos para una posible instalación futura.

VI.6.16 SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES

Tanto las plantas de tratamiento de agua residual como las instalaciones de distribución accesibles son blanco frecuente de delincuentes. También puede ocurrir algún tipo de sabotaje. Se deben proteger las instalaciones y, sobretodo, al personal que labora en ellas. Un poderoso argumento a favor de este tipo de protección es la posibilidad de demandas legales basadas en la falta de protección o de negligencia en la continua seguridad de las instalaciones.

Se deben sopesar los costos de mantenimiento y de instalación, comparándolos con posibles daños económicos por demandas legales puestas por empleados, por el público o por posibles intrusos.

VI.6.17 BARDEADO

La primer línea de protección y la más común es una barda alrededor de las instalaciones junto con una buena iluminación y protección adecuada en la puerta, para proporcionar así fácil acceso y seguridad para el personal autorizado y para los visitantes.

El trazo o tamaño de algunas instalaciones puede excluir un bardeado perimetral adecuado; en este caso, se deben de proteger cada uno de los edificios de la planta.

El bardeado debe rodear todas las instalaciones pertinentes a la operación, dejando un área libre entre la barda y la siguiente estructura. La barda debe ser a prueba de escaladores, con alambre de púas en la parte superior; la parte de abajo debe de estar anclada para excluir la posibilidad de debilitamiento o socavación. Cuando se utiliza malla

ciclónica, hay que pasar un alambre largo por la parte baja de la malla que vaya amarrado a cada poste que la sostiene, y dependiendo de la distancia entre los postes, enterrar este alambre entre los postes.

VI.6.18 ILUMINACIÓN DE SEGURIDAD

Además de la iluminación común de la planta, se debe tener iluminación perimetral que permite una buena visión de las áreas abiertas entre la barda y la estructura de la planta. Los focos deben de ser eficaces y permitir el servicio de las lámparas sin que se requiera equipo especial. Las áreas que van a estar protegidas deben de tener equipos detectores de vibración sectorizados para las bardas y las puertas que no se operan con frecuencia. Cuando se detecta alguna anomalía, este tipo de equipo puede activar focos locales y cámaras de circuito cerrado (CCTV). La acción consecuente se podrá determinar en la estación de monitoreo central.

VI.6.19 CONTROL DE ENTRADA

Actualmente están disponibles muchos métodos de control de entrada que varían en sofisticación. Mientras que en algunos lugares puede ser suficiente un portón sencillo o doble con cerradura, en plantas más grandes es más seguro y menos molesto invertir en sistemas más avanzados. Tales sistemas pueden incluir: Una caseta de vigilancia que esté funcionando todo el tiempo o por turnos; portones de control automático que sean operados con llave o tarjeta para entrar y salir, y que incluyan caballetes automáticos que cierren el portón cuando los vehículos hayan pasado; circuito cerrado de televisión para observar los portones todo el tiempo, éstos pueden estar abiertos durante el día, y el personal puede operarlos con identificación o tarjeta para entrar a horas distintas o en fin de semana. Las cámaras deben de ser a prueba de balas y a prueba de acciones vandálicas, además de tener lentes ajustables a control remoto para acercamientos; intercomunicadores telefónicos entre los portones, y un cuarto de control, debe de haber control manual de todos los detalles automáticos.

El sistema de identificación puede servir para supervisar la entrada y salida del personal, para buscar al personal en la planta por medio de una lista y para objetivos de pago de salarios. Los sistemas de lectura de placas de identificación también protegerán

los cuartos de control, ya que sólo el personal autorizado podrá entrar a ellos, usar el equipo especial y ayudar en la supervisión y protección en las rondas de vigilancia.

Así mismo, se deben de anunciar horas de visita y cláusulas de sanciones. En el mercado se pueden encontrar otros métodos para detección de intrusos, incluyendo fotoceldas, detectores de microondas y ultrasónicos, o aparatos para detectar movimiento, switches montados en ventanas y/o puertas, detectores de vibración en áreas de vidrio, switches de tapete y más.

VI.6.20 CENTRO DE CONTROL

Es importante que todas estas características estén monitoreadas desde un área central. El operador puede controlar y observar todos los eventos desde este punto y, si se desea, llevar un apunte automático de estos eventos para el sistema de entrada. Este centro de seguridad puede expandir sus funciones y monitorear los sistemas de detección de gas y de fuego, los de calefacción y ventilación, o los sistemas ambientales especializados o los de protección contra fuego para equipo especial, como serían el de cómputo. Los aparatos de protección que se usan para los sistemas de distribución también pueden monitorearse desde este punto.

Es sumamente importante para la seguridad de la planta que el staff de operación tenga bajo observación directa un máximo del área de las instalaciones. Por lo tanto, las medidas de seguridad deben de incluir que la oficina del operador se localice en un área que no lo desanime a poner atención, sobretodo de noche.

Todo el equipo de ayuda de protección (telemétrico) debe venir de un abastecimiento continuo de energía, con un generador standby de energía o con baterías de reserva. La necesidad de aparatos de protección puede no ser la principal preocupación en momentos cuando no hay suministro de energía eléctrica; sin embargo, la instalación debe ser segura en circunstancias de este tipo y cuando pueda existir sabotaje o vandalismo.

La acción a seguir en caso de vandalismo o de acciones destructivas de este tipo la decidirá el operador. Este puede llamar a la policía o investigar personalmente. En

muchos casos, resulta más sencillo tener contactos para alarmas que lleguen a la policía o al jefe de seguridad de la planta, además de alarmas locales en varias áreas de la planta. Para ahorrarse una línea telefónica especial, se pueden utilizar unidades de llamado policíaco o alarmas activas.

VI.6.21 SEGURIDAD DE PERSONAL

Reglamentos.- La salud en el área de trabajo y la seguridad física del personal debe ser una de las preocupaciones principales para el diseñador. Es indispensable estar de acuerdo con los reglamentos federales, estatales y locales; frecuentemente estos reglamentos establecen un estándar industrial.

Riesgos de seguridad.- Los principales peligros en una planta de tratamiento de agua residual son parecidos a los de cualquier planta de procesamiento hidráulico. Estos incluyen fuego, explosiones, caídas y ahogados. Los peligros asociados con la maquinaria eléctrica son el electrocutamiento y las heridas provocadas por la rotación de algunos mecanismos. Los peligros químicos incluyen quemaduras con ácidos, envenenamientos, asfixia y ataque directo a tejido corporal por vapores, gases y humo.

Una de las áreas más peligrosas en una planta de tratamiento es el área de alimentación y de almacenamiento de cloro.

Medidas de seguridad.- Ya que una planta de tratamiento puede incluir estaciones de bombeo, tinas de almacenaje, áreas de manejo de químicos, cuartos de equipo eléctrico, laboratorios, bodegas y oficinas, es importante conocer los peligros respectivos a cada zona y las posibles medidas de seguridad que a continuación se mencionan:

- Unidades abiertas de procesos o huecos en el suelo o paredes deben de estar protegidos por rejillas – doble rejilla donde aplica.
- Cadenas en las aberturas de entrada de las rejillas.
- Escaleras o pasamanos en los pozos y tanques.
- Las escaleras deben de tener jaulas de protección si sobrepasan la altura de un piso, y las escaleras largas deben de tener plataformas salientes.

- Las estructuras peligrosas, como subestaciones y tanques abiertos, deben de estar bardeados para prevenir entradas sin autorización y accidentes.
- Iluminación de emergencia en toda la planta, con especial atención en las escaleras.
- En algunas áreas se justifica el uso de alarmas contra fuego y de sistemas contra éste.
- Extinguidores adecuados.
- Los laboratorios y los sótanos deben de tener dos salidas.
- Las escaleras y los descansos deben de tener piso antiderrapante.
- Las rampas deben de tener una inclinación adecuada para que se pueda transportar el equipo y el material.
- El diseño de sistemas de alimentación de químicos debe minimizar el levantamiento de bolsas o tambores.
- Las puertas interiores de paso deben de abrir para ambos lados y deben de tener ventanas alambradas.
- Se debe de seleccionar el alumbrado o proporcionar los medios adecuados para que las lámparas puedan ser reemplazadas con seguridad.
- Los pisos deben de estar pintados para definir áreas claras de las oscuras, para así distinguir las áreas peatonales de las zonas de peligro.

CAPITULO 7**CASO PRÁCTICO**

Existe un rancho en el estado de Veracruz cerca de la ciudad de Poza Rica, el cual consta de 22 crujiás pavimentadas con concreto hidráulico, tapizadas de aserrín en la parte de arriba del pavimento, cada crujiá tiene una pendiente del 2% hacia canaletas que corren en las orillas de las mismas y además cada una de ellas contiene 16 corrales de 22.50 x 23.00 (m), en los cuales permanecen 80 cabezas de ganado (toros) en cada uno de ellos. Cada toro orina durante el día 40 litros. Se va a colocar una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar la orina de los toros, para que esta no cause un impacto negativo en el cuerpo receptor: un río que pasa a la orilla del terreno de donde se piensa construir la planta. ¿Que equipo de desinfección a base de gas cloro, se recomienda para desinfectar el efluente tratado de la planta, una vez conocida la siguiente información?

1. Se realizó el aforo indicado en el rancho y se llegó a la conclusión de que va a existir un 30% de pérdidas del gasto total por evaporación en la orina de los toros antes de llegar a la planta de tratamiento; y por la orina retenida en el excremento, que será levantado con maquinaria de excavación.
2. El tren de tratamiento primario, secundario y terciario que se propone en el diseño de la planta para tratar la orina es el siguiente: un canal Parshall con una etapa de cribado, un vertedor tipo Sutro, un reactor biológico anaerobio, un sedimentador primario, un reactor biológico aerobio a base de lagunas aeradas, un sedimentador secundario, filtración por grava fina, cloración a base de gas cloro y filtración por carbón activado.
3. Análisis realizados en el efluente de la planta en las pruebas de tratabilidad muestran que el efluente tiene una cuenta de coliformes de 10^7 por cada 100mL.
4. La línea de agua que entrará al clorinador recibirá una presión provocada por la pendiente del terreno de 5 PSI, la línea de descarga del clorinador que se dirige de nuevo al tanque de contacto, tendrá pérdidas totales por fricción de 10 PSI.

A) DETERMINACIÓN DEL RANGO DE ALIMENTACIÓN REQUERIDO

El primer paso para seleccionar un equipo de cloración es determinar las tasas mínimas y máximas de alimentación que se requieren. Estos datos se pueden obtener contestando la siguiente pregunta:

Dosis

¿Qué tasa de aplicación de cloro por unidad de flujo líquido se requiere para lograr el objetivo deseado en este caso particular?

Existen tablas que han sido creadas por las investigaciones realizadas y en base a la experiencia en el tratamiento del agua residual, algunas de ellas proporcionadas por los fabricantes en donde se sugiere escoger la dosificación de cloro en mg/L del efluente a tratar en función del reactor biológico elegido o del objetivo de la cloración, o del objetivo del tratamiento. El cuadro 2.1 del capítulo II, al igual que las tablas 7.1 y la 7.2 proporcionadas por fabricantes muestran algunas de las dosificaciones propuestas.

TABLA 7.1 – DOSIS REPRESENTATIVA DE CLORO REQUERIDA PARA VARIOS OBJETIVOS

OBJETIVOS DE TRATAMIENTO	DOSIS EN mg/L *
Control de algas	1.0-10.0
Eliminación de amoníaco(NH ₃ -N)	10x contenido de NH ₃ -N
Eliminación de color	1.0-10.0
Desinfección: Con residual combinado** Con residual libre****	1.0-5.0 1.0-10.0
Eliminación de Sulfuro de Hidrógeno(H ₂ S)	2.22x contenido de S a sulfuro libre 8.8x contenido de S a sulfato
Eliminación de Hierro (Fe)****	0.64x contenido de Fe
Eliminación de Manganeseo (Mn)****	1.3x contenido de Mn

Control de iégame	1.0-10.0
Control de olor y sabor	10x contenido de NH ₃ -N más 1-5 mg/L

WALLACE AND TIERNAN

*mg/L significa miligramos por litro. 1 mg/L= 8.34 lb por millón de galones. La unidad mg/L es numéricamente equivalente a lo que comúnmente se usa como ppm (partes por millón).

**Residual combinado significa el residual producido por la reacción del cloro con el amoníaco natural o añadido, o con ciertos compuestos de nitrógeno orgánico.

*** Residual libre significa el residual producido después de que el cloro destruye el amoníaco o ciertos compuestos de nitrógeno orgánico.

****También se requiere filtración.

TABLA 7.2 – DOSIS DE CLORO REQUERIDO EN DISTINTOS OBJETIVOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

OBJETIVO DE LA CLORACION	DOSIS EN mg/L*
Operación de lodos activados: Control de acumulación de lodos Engrosamiento de lodos	2-8 Variable
Digestor	20-80
Desinfección de: Aguas residuales frescas en bruto Aguas residuales sépticas en bruto Aguas residuales frescas permanentes Aguas residuales sépticas permanentes Precipitación química Efluente del filtro percolador Efluente de lodos activados Efluente del filtro de arena	6-12 12-25 5-10 12-40 3-10 3-10 2-8 1-5
Control de olor: Aguas residuales superiores En la planta	1.5-10 5-10
Operación del filtro percolador Control de Olor Control de insectos del filtro	2-6 3-10

WALLACE AND TIERNAN

Como se puede observar en las tres tablas mencionadas no se toma en cuenta el efluente de una planta de tratamiento con lagunas aeradas, y aunado esto a la complejidad del sistema del ejemplo, ya que este consta de dos reactores biológicos (anaerobio y aerobio) se prefiere calcular esta dosificación en función de la cuenta de coliformes conocida en el efluente que se requiera eliminar. Supongamos que queremos alcanzar una cuenta de coliformes igual o menor que 200 por cada 100 mL en el efluente.

Hay que calcular esta dosificación en miligramos por litro (mg/L).

$$\frac{N_t}{N_0} = (1 + 0.23C_t t)^{-3}$$

$$\frac{2 * 10^2}{10^7} = (1 + 0.23C_t t)^{-3}$$

$$2 * 10^{-5} = (1 + 0.23C_t t)^{-3}$$

$$1 + 0.23C_t t = (2 * 10^{-5})^{-\frac{1}{3}} = 36.84$$

$$C_t t = (36.84 - 1) / 0.23 = 155.8 \text{ mg} * \text{min} / \text{L}$$

Para un valor igual a 30 min,

$$C_t = 155.8 / 30 = 5.2 \text{ mg} / \text{L}$$

Determinar el residual de cloro para un caudal punta, la relación entre un caudal punta sostenido durante 1 día y el caudal medio es 2.75. Debido a que el tiempo de contacto va a ser reducido por este valor, el correspondiente residual de cloro es:

$$C_t = 155.8 / (30 / 2.75) = 14.3 \text{ mg} / \text{L}$$

B) DETERMINACIÓN DEL GASTO

¿Cuál es máximo gasto a ser tratado? Anotar esta respuesta en metros cúbicos por día (m³/día), millón de galones por día (mgd), o galones por minuto (GPM), y continuar.

de toretes = 22 crujías x 16 corrales x 80 toretes = 28 160 toretes

$Q_{total} = 28\ 160 \text{ toretes} \times 40 \text{ litros/torete} \times 0.70 \text{ (pérdidas)} = 788\ 480 \text{ lts/día} = 788.48 \text{ m}^3/\text{día}$

$Q_{total} = 32\ 853.3 \text{ lts/hr} = 547.5 \text{ lts/min} = 9.13 \text{ lts/seg} = 0.00913 \text{ m}^3/\text{seg}$

Convirtiendo el gasto de $\text{m}^3/\text{día}$, a GPM (galones por minuto), GPD (galones por día) o mgd (millones de galones por día).

$$Q = 788.48 \text{ m}^3/\text{día} = 144.66 \text{ GPM} = 208,317.04 \text{ GPD} = 0.20831704 \text{ mgd}$$

C) TASA DE ALIMENTACIÓN REQUERIDA

Con las respuestas a las preguntas anteriores la tasa de alimentación de cloro que se requiere puede obtenerse con las siguientes fórmula:

$$Cl_2 / d = \frac{\text{Máximadosificación}(\text{mg / L}) * \text{Flujo máximo}(\text{m}^3 / d)}{10^3 \text{ g / kg}} = [\text{kg / día}] \quad (1)$$

o con:

$$\text{Máxima dosis (mg/lt.)} \times \text{máximo flujo (mgd)} \times 8.34 = \text{Libras de cloro por 24 horas} \quad (2)$$

Para aplicaciones menores en donde el flujo se mide en GPM:

$$\text{Máxima dosis (mg/lt.)} \times \text{máximo flujo (GPM)} \times 0.012 = \text{Libras de cloro por 24 horas} \quad (3)$$

Nota: 8.34lb es igual a 1 mg/lt y 0.012 es un factor de conversión cuando en lugar de utilizar mgd (millones de galones por minuto) se utiliza GPM (galones por minuto) [60 min x 24 hr x 8.34 / 1,000,000 = 0.012].

Para determinar la capacidad del clorómetro para una planta de tratamiento con un caudal medio de agua residual de $788.48 \text{ m}^3/\text{d}$, tomando como factor punta para la planía 2.75 y la dosis media de cloro requerido de la del inciso es de 5.2 mg/L.

Utilizando el gasto en m³/día fórmula (1)

$$Cl_2 / d = \left(\frac{5.2mg}{lt} \right) \left(\frac{1000litros}{1m^3} \right) \left(\frac{0.78848 \times 10^3 m^3}{día} \right) \left(\frac{1kg}{10^6 mg} \right) * 2.75 = 11.27kg / d = 24.84lb / d$$

Ocupando la fórmula (2) con el gasto en mgd

$$Cl_2 / d = \left(\frac{5.2mg}{litro} \right) * 0.20831704mgd * 8.34lbmg * 2.75 = 24.84lb / d$$

o con la fórmula (3) con el gasto en GPM

$$Cl_2 / d = \left(\frac{5.2mg}{litro} \right) * 144.66GPM * 0.012 * 2.75 = 24.84lb / d$$

con cualquiera de las tres ecuaciones se obtiene la misma dosificación.

Se utilizará una unidad de 43 Kg/d o 95 lb/día con una unidad actuando como reserva. Aunque la mayor parte del día no será necesaria tal capacidad, debe disponerse de ella para hacer frente a las necesidades de cloro para el caudal punta.

Para estimar el consumo diario de cloro con una dosis media de 5.2 mg/L.

$$Cl_2 / d = \left(\frac{5.2mg}{litro} \right) \left(\frac{1000litro}{1m^3} \right) \left(\frac{0.78848 * 10^3 m^3}{día} \right) \left(\frac{1kg}{10^6 mg} \right)$$

$$Cl_2 / d = \frac{5.2mg / L * 0.78848 * 10^3 m^3 / d}{10^3 g / kg} = 4.1kg / día$$

$$4.1kg/día = 9.03 lb/día$$

D) PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE COLIFORMES

Se puede estimar el porcentaje de eliminación de coliformes aproximadamente suponiendo condiciones uniformes. El afluente de la cámara de contacto de cloración contiene 10^7 coliformes por cada 100 ml. El coeficiente de la ley de Chick es $k = 3.0 \text{ min}^{-1}$, y el tiempo de residencia es 30 min, estímese la población de coliformes en el efluente. ¿Cuál es el porcentaje de eliminación de coliformes?

R.- De la ecuación:

$$N_e = N_o / (1 + kt)$$

$$N_e = (10^7) / (1 + 3 * 30) = 109890 \text{ coliformes/100ml}$$

El porcentaje de eliminación es:

$$\frac{N_o - N_e}{N_o} * 100 = \frac{10000000 - 109890}{10000000} * 100 = 99\%$$

E) TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

Datos:

$$Q_{\text{med}} = 788.48 \text{ m}^3/\text{día} = 9.13 \text{ l/seg} = 0.00913 \text{ m}^3/\text{seg} = 0.5478 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{\text{max ext}} = 2168.32 \text{ m}^3/\text{día} = 25.10 \text{ l/seg} = 0.02511 \text{ m}^3/\text{seg} = 1.5066 \text{ m}^3/\text{min}$$

Consideraciones del diseño:

Método de desinfección: Aplicación de cloro gas

Dosis media de cloro: 4.1 kg/día = 9.03 lb/día

Tiempo de contacto:

a) 20 minutos para $Q_{\text{max ext}}$

b) Mayor a 30 minutos para Q_{med}

Contenedores de cloro: Tanques de acero de 68 kg (150 libras)

Desarrollo:

1. Cálculo del volumen necesario del tanque con Qmax ext

$$V = Qt = 0.02511 \text{ m}^3/\text{s} * 20\text{min} * 60 \text{ s}/\text{min} = 30.13\text{m}^3$$

2. Cálculo de las dimensiones

Se propone una profundidad de 2 m.

$$\text{Area} = \frac{30.13\text{m}^3}{2\text{m}} = 15.07\text{m}^2$$

Se propone una relación $L = 3a$ por lo que

$$a = \sqrt{\frac{15.07}{3}} = 2.24\text{m} \quad \text{para el proyecto será de 2.5 m.}$$

$$L = 7.5 \text{ m}$$

Dimensiones finales:

Largo:	7.5 m
Ancho:	2.5 m
Profundidad:	2.0 m
Volumen:	37.5 m

3. Revisión por tiempo de retención

a) Para Q med

$$t = \frac{37.5 \text{ m}^3}{0.5478 \text{ m}^3/\text{min}} = 68.5 \text{ min} > 30 \text{ min}, \text{ por lo tanto cumple}$$

b) Para Q max ext

$$t = \frac{54 \text{ m}^3}{1.5066 \text{ m}^3/\text{min}} = 35.8 \text{ min} > 20 \text{ min}, \text{ por lo tanto cumple}$$

F) CÁLCULO DEL NÚMERO DE TANQUES DE GAS CLORO REQUERIDOS

La cantidad de cloro por día se calcula con Q med debido a las variaciones de gasto que se presentan a lo largo del día.

Como se determinó anteriormente la dosificación para gasto medio es de 5.2 mg/lit.

$$C = 9.13 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} * 5.2 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} * 86400 \frac{\text{seg}}{\text{día}} * \frac{1\text{kg}}{10^6 \text{mg}} = 4.10 \text{kg} / \text{día}$$

Se vuelve a cerciorar que la dosificación es 4.10 kg/día

$$C = 4.10 \text{ kg/día} * 30 \text{ días} = 123 \text{ kg/mes}$$

Con tanques de 68 kg (150 lb) de capacidad

$$\frac{68}{4.10 \text{kg} / \text{d}} = 16.58 \approx 16 \text{ días}$$

Se utilizará 1 tanque en servicio y 1 de reserva, y el tanque durará 16 días antes de acabarse. Si el tiempo de suministro es 15 días, para mayor seguridad, el número de tanques recomendables es 3.

G) ELECCION DEL MODELO DEL EQUIPO, CÁLCULO DE LA TOBERA Y DE LA GARGANTA DEL INYECTOR

Se necesita una dosificación de $4.1 \text{kg/día} = 9.03 \text{ lb/día}$, como la dosificación no rebasa las 200 lb/día (PPD), entonces se sugiere un dosificador sónico S10 K, (de los más chicos de capacidad que se pueden montar fácilmente, ver información técnica en anexos) y por consiguiente se elegirá un inyector de garganta fijada de $\frac{3}{4}$ ", que es el que le corresponde a este dosificador que no rebasa las 200 lb/día.

La presión de succión que le llegará al clorinador provocada por la pendiente, y por consiguiente que también le llegará a la garganta del inyector es de 5 PSI. Con este valor se entra a la tabla de Requerimientos de Operación del Inyector Hidráulico para un operador sónico con garganta fijada de $\frac{3}{4}$ " (mostrada en los anexos), en el eje de las abscisas, y en el eje de las ordenadas se entra con el 9 (valor que se obtuvo de la

dosificación en lb de cloro por día), como no se encuentra el 9 nos vamos al inmediato superior que es el 10.

De esta forma se obtienen 3 datos que son los siguientes:

- 1.- 45 70-C
- 2.- 30 99-D
- 3.- 24 120-D

Cada dato está formado por dos valores, el primero se refiere a la presión de entrada que requiere el inyector de garganta fijada para producir la dosificación deseada (también llamada back pressure o retropresión). Y el segundo valor se refiere al modelo del inyector, consta de un número y de una letra, el número corresponde a la milésima parte de una pulgada multiplicada por el mismo, por ejemplo en el tercer dato (24 120-D) se tiene que la presión mínima que requiere el inyector para trabajar adecuadamente es de 24 PSI y el tamaño de la garganta es de:

$$\text{Tamaño de la garganta en mm} = \frac{120 * 25.4 \text{ mm / plg.}}{1000 / \text{plg.}} = 2.15 \text{ mm}$$

Se escoge el tercer inyector de garganta fijada (24 120-D) debido a que es el que requiere de la presión más baja de operación (24 PSI) y por lo tanto representa el costo más bajo.

H) CALCULO DE LA BOMBA DE AYUDA O BOMBA CENTRÍFUGA

Carga dinámica total de la bomba = Presión de descarga – Presión de succión + pérdidas por fricción.

$$\Delta P = P_d - P_s + \Delta H_f$$

Pérdidas por fricción $\Delta H_f = 10 \text{ PSI}$

$$\Delta P = 24 - 5 + 10 (\text{PSI}) = 29 \text{ PSI}$$

A continuación, para obtener el gasto que requiere la bomba, se podrá consultar directamente la tabla inyector de garganta fijada 1" y ¾" que se encuentra en los anexos. Se entra con el modelo del inyector que es el 120 en las curvas, y en el eje de las abscisas con la presión inicial de operación del agua calculada, 29 PSI, y se sale en el eje de las ordenadas para así obtener el gasto que requiere manejar la bomba de ayuda o bomba centrífuga, de esta forma se obtiene 2.25 GPM.

Con la carga dinámica total de 29 PSI y el gasto de 2.25 GPM se podrá entrar a las curvas características de la bomba para obtener el cabalaje de la misma. Sin embargo los fabricantes proporcionan tablas en las que se pueden obtener todos los valores buscados para escoger la bomba que adecuada. En la página # 157 del capítulo de Diseño Electromecánico, se busca la tabla, que contiene la capacidad de 10 lbs por día, para una garganta de ¾" y bomba centrífuga de 3,500 RPM.

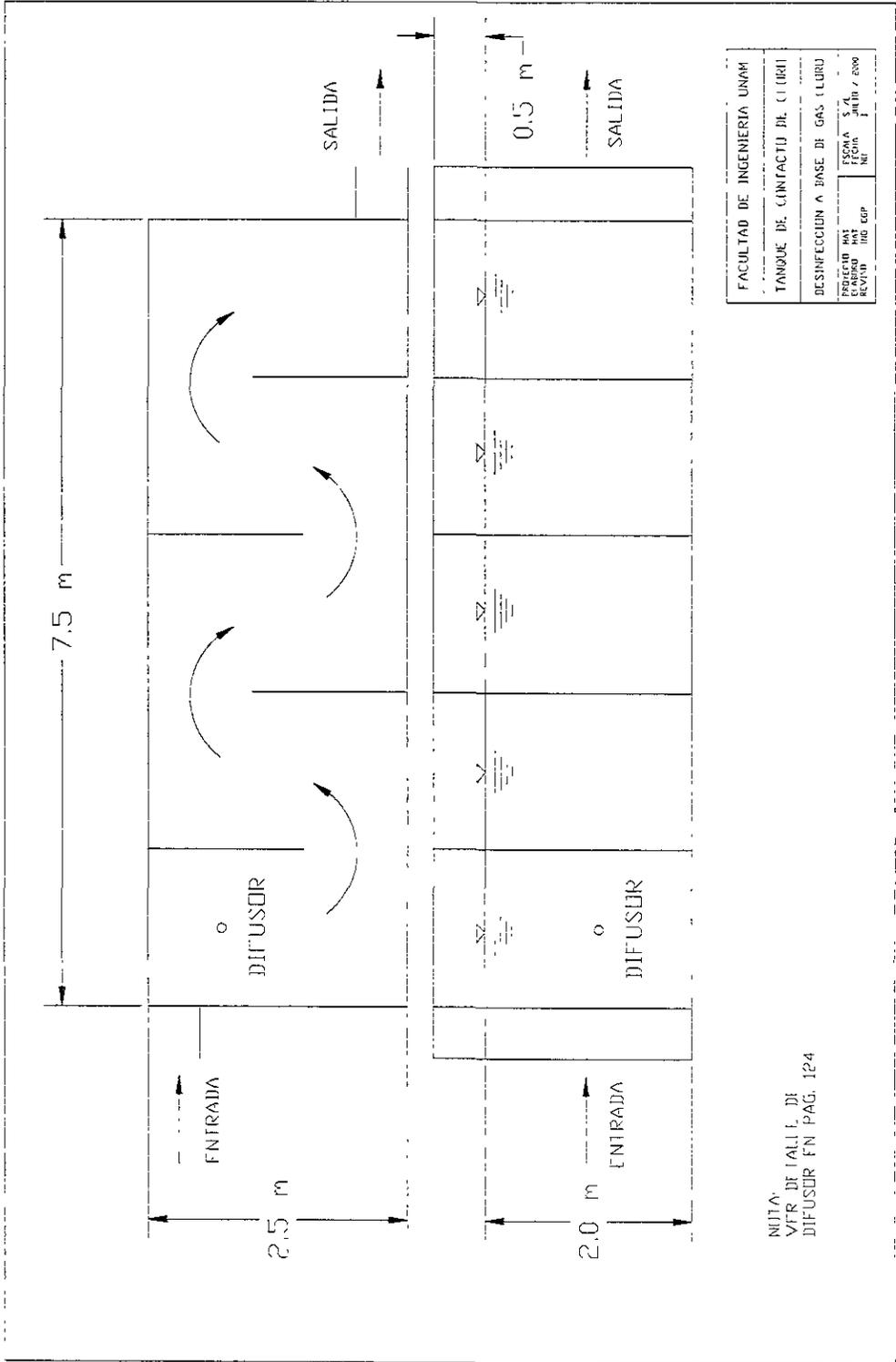
Simplemente se entra con la presión de entrada al clorinador o retropresión de 5 PSI y se obtiene la siguiente información:

- | | | |
|-----|--|-----------------|
| 1.- | Modelo del la garganta del inyector: | 165F |
| 2.- | Capacidad de la bomba: | 3.7 GPM |
| 3.- | Carga dinámica que puede vencer: | 58 pies = 65PSI |
| 4.- | Presión de succión de la bomba: | 0 ó inundada |
| 5.- | Cabalaje de la bomba de inyección, HP: | ¾ |
| 6.- | Modelo de la bomba de inyección: | 321 ¾ X 1 X 6 |

(serie succión X descarga X diámetro del impulsor)

Tal parece que hubo algún error en el primer cálculo ya que los últimos datos obtenidos son mayores que los antes calculados con las curvas; la explicación es que las tablas que proporcionan los fabricantes en las que dan toda la información, no incluyen todos los modelos de garganta de inyectores, algunas veces se van directamente a modelos más grandes, y por lo tanto la información obtenida queda sobrada.

Este caso práctico no pretende ser absoluto, sino solo dar una idea del diseño que de desinfección por medio de gas cloro, en la realidad se deben de tomar en cuenta todos los aspectos señalados en la teoría del presente trabajo.



FACULTAD DE INGENIERIA UNAM			
TANQUE DE CONTACTO DE CLORO			
DESINFECCION A BASE DE GAS CLORO			
PROFESOR	HAB	ESCALA	S. CL.
REVISTA	IND	IND	IND
EDP	EGP	IND	IND

NOTA:
 VFR DE TALLER DE
 DIFUSOR EN PAG. 124

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con este trabajo se describieron las diferentes etapas del diseño en la desinfección utilizando el gas cloro, y en cada etapa los requerimientos que se necesitan para llevar a cabo satisfactoriamente la operación del sistema, de esta forma llegamos a algunas conclusiones:

- La desinfección es la eliminación de los organismos presentes en las aguas que pueden producir enfermedades a diferencia de la esterilización ya que esta implica la destrucción total de los organismos. Los tres principales organismos que pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos.
- La desinfección forma parte del tratamiento terciario y es la última etapa en el tren de tratamiento de aguas residuales esta puede realizarse mediante productos químicos, agentes físicos y radiación. Los productos químicos utilizados como desinfectantes son los siguientes: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono, fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, metales pesados, colorantes, detergentes, agua oxigenada, ácidos y alcalis. Los agentes físicos, son el calor, la luz y la radiación ultravioleta.
- Los compuestos de cloro más utilizados son el gas cloro (Cl_2), el hipoclorito de sodio ($NaOCl$) y el dióxido de cloro (ClO_2). Cuando la dosificación es alta es más económico utilizar el gas cloro que el hipoclorito de sodio.
- El gas cloro es de color amarillo verdoso, sofocante, soluble en agua en la proporción de tres volúmenes de gas en uno de agua a la presión y temperatura ordinarias (se denomina agua de cloro). El agua de cloro se descompone, dismutándose el cloro en cloruro e hipoclorito (o ácido hipocloroso). A la cantidad de ácido hipocloroso y anión hipoclorito presentes en las aguas se les conoce con el nombre de cloro libre disponible.

- En presencia de compuestos orgánicos que interfieren el proceso de cloro residual total no puede utilizarse como medida fiable para la evaluación de la eficacia bactericida del cloro. El grado de interferencia de los compuestos orgánicos depende de sus grupos funcionales y de su estructura.
- Los compuestos saturados y los carbohidratos ejercen una pequeña o nula demanda de cloro y no parecen interferir en el proceso de cloración. Los compuestos orgánicos con enlaces no saturados pueden ejercer una demanda inmediata de cloro dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos los compuestos resultantes pueden aparecer en los análisis como cloro residual y, sin embargo, poseer poco o nulo potencial de desinfección.
- Los compuestos con anillo policíclicos que contienen grupos de hidróxido y compuestos que contienen grupos de azufre reaccionan fácilmente con el cloro para formar compuestos que tienen pequeño o nulo potencial bactericida, pero que aparecen en los análisis como cloro residual.
- "Requerimiento de cloración" es un término que se define como la cantidad de cloro que debe añadirse por unidad de volumen para producir el resultado necesario bajo las condiciones especificadas. El resultado, como se observó, puede basarse en cualquier cantidad de criterios, como una densidad de coliformes estipulada, una concentración especificada de cloro residual, la destrucción de constitutivos químicos, o algunos otros.
- Cuando el cloro se utiliza para eliminar olores, para reducción de DBO, lógamo o control de insectos en los filtros de percoladores, y control de concentración de lodos activados, la necesidad de cloro se define como la cantidad de cloro que debe añadirse para producir el resultado deseado. En la mayoría de los casos mencionados, el requerimiento de cloro se determina mejor en los datos base de una planta. Ocasionalmente, las pruebas de laboratorio son más apropiadas.
- La cloración al breakpoint, es el proceso de cloración de las aguas con la cantidad de cloro suficiente que causa dos efectos importantes; la presencia de cloro residual libre

(lo que nos permite la desinfección total con toda seguridad) y la eliminación del nitrógeno de las aguas.

- El cloro es uno de los desinfectantes mayoritariamente usados, sin embargo el ozono es un elemento oxidante con propiedades bactericidas superiores a las del cloro, con ventajas como por ejemplo que, el ozono en el agua al convertirse rápidamente en oxígeno no se obtiene en el efluente tratado ningún compuesto químico residual que pueda requerir su eliminación, no produce sólidos en disolución, no reacciona con el amoníaco, no depende del pH del agua tratada y por otra parte introduce oxígeno en el agua residual tratada. Los inconvenientes son sus costos en relación con el cloro y que no deja una desinfección residual (cloro residual libre en el cloro).
- La decoloración de las aguas residuales consiste en la eliminación de todo el cloro residual libre, para que así, los compuestos orgánicos que reaccionan con el cloro no sean tóxicos para la flora y fauna del medio en que se vierten las aguas. Esta decoloración se puede realizar con dióxido de azufre y carbón activado, o también se puede realizar con el sulfito sódico y el metabisulfito sódico.
- Los componentes básicos de un sistema de desinfección a base de gas cloro en la caseta de cloro son: los contenedores de gas, los vaporizadores o evaporadores, los clorinadores, y fuera de ella son: el tanque de contacto de cloro y los difusores.
- El inyector es el componente del sistema más importante (forma parte del clorinador) ya que crea un vacío que atrae el gas cloro del contenedor, para ser mezclada con el agua atraída.
- La dosificación de gas cloro, el diseño del canal de contacto, las características del influente, la elección de los equipos, la elección del tipo de control de la planta, equipos auxiliares son aspectos muy importantes en el diseño debido a que están relacionados directamente con la eficiencia y eficacia del sistema en la planta y el costo que se deberá invertir en el proyecto.

- Los tipos de alimentación de gas cloro más comunes son la alimentación directa y la alimentación por solución. La selección del tipo de control que se debe de elegir está en función del gasto que entrará en la planta, de los requerimientos de alimentación de gas cloro, del tipo de flujo a tratar, y del tipo de automatización que requiramos en la desinfección, además de las condiciones particulares que se presenten en sitio.

- La elección de la bomba de inyección estará en función de la presión de entrada al clorinador que se requiera, de la garganta de inyección que se elija de acuerdo a gráficas, de la capacidad de la bomba (gasto), y de los requerimientos de cloro por día que se deban satisfacer para lograr la desinfección adecuada.

- Se deben de tener ciertas consideraciones en el manejo y uso de las instalaciones de gas cloro, lo primero es conocer las características físicas y químicas del material el cual estamos trabajando, su toxicidad y sus riesgos, las características y recomendaciones que se deben de cumplir para ciertas instalaciones, tomando como punto principal la seguridad de las personas que operen el sistema de gas cloro en la planta.

- El diseño de un sistema de desinfección (en esta caso gas cloro), es un proceso delicado el cual implica una planeación minuciosa de cada etapa antes de desarrollar el proyecto, y la elección de los equipos debe de estar respaldada por un buen diseño debido al costo tan elevado que representan, según se observa (anexos) en los precios actuales de equipos en el mercado. El control de calidad del agua que resulte en el efluente de la planta es un punto que nunca se debe de descuidar para conservar el objetivo final de la desinfección que es cuidar la salud de las personas y la preservación de los cuerpos receptores de las descargas de agua residual.

El presente trabajo proporciona la documentación básica que se necesita para resolver problemas relacionados con la desinfección por medio de gas cloro, sin embargo, hay que señalar que la información que existe en relación con este tema es muy amplia y si se hubiera querido incluir en este trabajo, se habría necesitado de mucho mayor tiempo y espacio, y esto no era necesario, para cumplir con el objetivo planteado en la introducción.

En cuanto a experiencia personal fue muy útil por toda la investigación que se tuvo que realizar, por la importancia de esta etapa en el tratamiento del agua residual, por las visitas a empresas que se dedican a la venta de estos equipos, por la información tan valiosa que se sustrajo del material que se encuentra en su mayoría en el idioma inglés, y por la convicción propia de que este trabajo en su mayoría teórico, es un manual que puede ser muy útil como material didáctico y como información básica para llevar a cabo un proyecto ingenieril actual de desinfección a base de gas cloro y como introducción para llevar a cabo más investigaciones en la materia.

Finalmente se concluye que el tratamiento del agua residual es una necesidad que se debe afrontar y satisfacer, y que crece con el paso del tiempo en función de muchos factores como es el crecimiento demográfico y con ello el crecimiento industrial; el agua es un recurso natural vital, tiene un ciclo, y en el cual estamos alterando sus características naturales, así mismo se están presentando problemas nuevos que se deben resolver al igual que se han ido resolviendo en otras áreas científicas; se requieren de más especialistas que deben de interactuar juntos, que estén preparados y sean capaces de estudiar estos problemas planteados (se debe recordar que la desinfección es sólo una etapa de muchas que requiere el tratamiento del agua residual) para poder darles solución, y finalmente brindarles a las nuevas generaciones un desarrollo sustentable, la oportunidad de disfrutar, usar y aprovechar este recurso natural de la misma forma que lo han hecho sus antecesores.

RECOMENDACIONES

En función del presente trabajo podemos hacer las siguientes recomendaciones:

- Ampliar más la investigación teórica que se haya hecho recientemente y hacer una comparación con la que aquí se está presentando, resaltar si existen nuevas teorías y si alguna de estas se ha perfeccionado.

- Hacer una investigación práctica de equipos que se fabrican actualmente, y de diseños modernos de plantas de tratamiento de aguas residuales enfocándose en la

etapa de desinfección. Estudiar más las capacidades de estos equipos, costos de adquisición, costos de operación, empresas actuales que se dedican a fabricarlos y venderlos, así como el crecimiento que están presentando estas empresas.

- Realizar una comparación de ventajas y desventajas (incluyendo costos) de la desinfección por medio de gas cloro con otros sistemas de desinfección como lo es el bromo, y con otros más, que están tomando mucho auge como es la desinfección con Ozono. Hacer un proyecto de inversión de cada uno.

- Ampliar la información presentada en este trabajo, en función de los sistemas de desinfección que se ocupan actualmente en las plantas de tratamiento que existen en el país y la realidad económica del mismo, y proponer los tipos de sistemas de desinfección más recomendables tomando en cuenta el aspecto siguiente: *el presente trabajo está basado en mucha información del extranjero, en México el porcentaje de agua residual desalajada de las ciudades y de las industrias, que pasan por un sistema tratamiento, es aún mínimo si lo comparamos con otros países, algunos de estos se encuentran en la parte norte de Europa, ejemplo de ello es Holanda y Finlandia, además de Estados Unidos de América y Canadá en nuestro continente.*

La información que se pudiera investigar y desarrollar de cada punto citado, puede ser muy interesante y muy útil, y además puede ser factible como un trabajo de tesis a desarrollar.

ANEXOS

**REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL INYECTOR HIDRÁULICO
OPERACIÓN PARA EL SONICO S10k – INYECTOR DE GARGANTA FIJADA DE 3/4"**

PRESIÓN DE ENTRADA DEL INYECTOR VS SELECCIÓN DE LA GARGANTA Y DE LA TOBERA

	g	2.5	5	10	20	40	60	80	100	120	140	160
200	85 140-G	130 120-F	130 120-F	145 120-F	160 120-F	180 120-F	210 120-F	260 120-F	295 120-F	250 185-F	265 165-F	300 165-F
	50 165-H	65 140-G	100 140-G	110 140-G	125 140-G	150 140-G	185 140-G	225 140-G	270 140-G	220 193-G	250 195-G	275 193-G
	30 242-K	55 193-J	60 193-J	70 185-H	95 165-H	125 165-G	185 165-G	185 165-G	225 165-G	205 242-H	225 242-H	260 242-H
		35 242-K	35 242-K	65 193-J	83 193-J	115 193-H	165 193-H	165 193-H	205 193-H			
				45 242-K	60 242-K	90 242-J	155 242-J	155 242-J	175 242-H			
150	75 120-F	85 120-F	90 120-F	105 120-F	120 120-F	145 120-F	160 99-E	225 99-E	265 99-E	285 120-E	290 140-F	295 165-F
	65 140-G	60 140-G	65 140-G	75 140-G	85 140-G	135 140-G	155 140-F	190 140-F	215 140-F	255 140-F	260 165-F	270 193-G
	40 165-H	45 185-H	50 165-H	65 165-H	85 165-G	110 165-G	145 165-G	160 165-G	210 165-F	220 165-F	240 193-G	260 242-H
	35 193-J	20 242-K	23 242-K	30 242-J	70 193-J	105 193-H	130 193-H	160 193-G	175 193-G	205 193-G	225 242-H	
	25 242-K				50 242-J	85 242-J	110 242-H	140 242-H	200 242-H	200 242-H		
100	70 99-E	80 99-E	85 99-E	100 99-E	115 99-E	140 99-E	160 99-E	220 99-E	285 99-E	245 120-E	260 120-E	230 165-F
	60 120-F	65 120-F	70 120-F	80 120-F	95 120-F	135 120-F	155 120-E	185 120-E	215 120-E	215 165-F	250 165-F	265 193-G
	45 140-G	55 140-G	60 140-G	65 140-F	80 140-F	110 140-F	145 140-F	160 140-F	180 165-F	200 193-G	235 193-G	280 242-H
	30 165-H	30 165-H	35 165-H	45 165-H	60 165-G	100 165-G	125 165-F	155 165-F	170 193-G		225 242-H	
	25 242-J	20 242-J	25 242-J	40 193-J	45 242-J	50 193-G	115 193-G	145 193-G	165 242-H			
			30 242-J		60 242-J	110 242-H	140 242-H					
75	145 70-C	160 70-C	170 70-C	185 70-C	210 70-C	240 70-C	285 70-C	285 70-C	300 70-C	265 99-D	285 99-D	280 140-E
	70 99-E	75 99-E	80 99-E	90 99-E	105 99-E	135 99-E	175 99-D	195 99-D	225 99-D	245 120-E	260 120-E	265 193-G
	50 120-F	55 120-F	60 120-F	70 120-F	80 120-F	120 120-E	145 120-E	180 120-E	215 120-E	220 140-E	250 140-E	260 242-H
	30 140-F	35 140-F	40 140-F	40 140-F	75 140-F	100 140-F	135 140-F	170 140-F	205 140-E	215 165-F	230 165-F	
	25 193-H	30 185-F	35 165-F	45 165-F	60 165-F	90 165-F	120 165-F	150 165-F	180 165-F	200 193-G	225 242-H	
	20 242-J	20 242-J	30 193-H	40 193-H	50 193-H	85 193-G	110 193-G	145 193-G	170 193-G			
			23 242-J	30 242-J	45 242-J	80 242-J		140 242-H	165 242-H			
50	85 70-C	100 70-C	110 70-C	125 70-C	150 70-C	185 70-C	210 70-C	235 70-C	275 70-C	245 99-D	280 99-D	280 120-D
	45 99-E	55 99-E	60 99-E	75 99-E	90 99-D	115 99-D	145 99-D	175 99-D	210 99-D	220 120-E	250 120-D	275 140-E
	35 120-F	40 120-F	45 120-F	60 120-F	75 120-E	105 120-E	140 120-E	170 120-E	180 140-E	215 140-E	245 140-E	265 193-S
	25 140-F	35 140-F	40 140-F	50 140-F	70 140-F	100 140-F	120 410-E	150 140-E	160 193-S	190 193-S	220 193-S	
	20 193-H	30 185-F	35 165-F	45 165-H	55 165-F	85 165-F	115 165-F	135 193-S			225 242-H	
	25 193-H	25 193-H	35 193-H	50 193-H	75 242-H	110 193-G						
	20 242-H		30 242-H	45 242-H		105 242-H						
30	80 70-C	70 70-C	80 70-C	95 70-C	115 70-C	145 70-C	175 70-C	215 70-C	235 70-B	260 70-B	285 70-B	270 99-C
	40 99-D	40 99-D	40 99-E	50 99-D	65 99-D	105 99-D	135 99-D	165 99-C	185 99-C	210 99-C	240 99-C	265 193-S
	30 120-E	35 120-E	40 120-E	45 140-F	55 140-F	100 120-E	125 120-D	155 120-D	180 120-D	190 193-S		
	20 140-F	30 140-F	35 140-F	35 165-F	50 165-F	85 140-E	120 140-E	150 140-E	175 140-E			
	15 165-F	25 165-F	22 165-F			80 165-F	110 165-F	140 165-F	170 165-F			
						105 193-S	135 193-S	160 193-S				
20	40 70-C	55 70-C	60 70-C	70 70-C	80 70-C	125 70-C	160 70-B	185 70-B	210 70-B	245 70-B	260 70-B	260 99-C
	30 99-D	35 99-D	40 99-D	45 99-D	65 99-D	100 99-D	130 99-C	155 99-C	180 99-C	210 99-C	235 99-C	
	22 120-E	30 120-E	30 120-E	40 120-E	55 120-E	90 120-D	120 120-D	150 120-D	175 140-E			
	18 140-E	20 140-F	25 140-F	35 140-F	50 140-F	85 140-E	105 193-S	135 193-S	160 193-S			
10	35 70-C	40 70-C	45 70-C	55 70-C	75 70-C	105 70-B	135 70-B	165 70-B	200 70-B	230 70-B	270 70-B	260 99-C
	20 99-D	24 99-D	30 99-D	35 99-D	55 99-C	85 99-C	110 99-C	145 99-C	170 99-C	200 99-C	230 99-C	
	18 120-D	21 120-D	24 120-D		50 120-D	80 120-D	100 185-S	130 193-S	160 193-S			
						65 193-S						

BEL
 C
 O
 N
 O
 L
 O
 G
 Í
 C
 A
 P
 O
 R
 T
 A

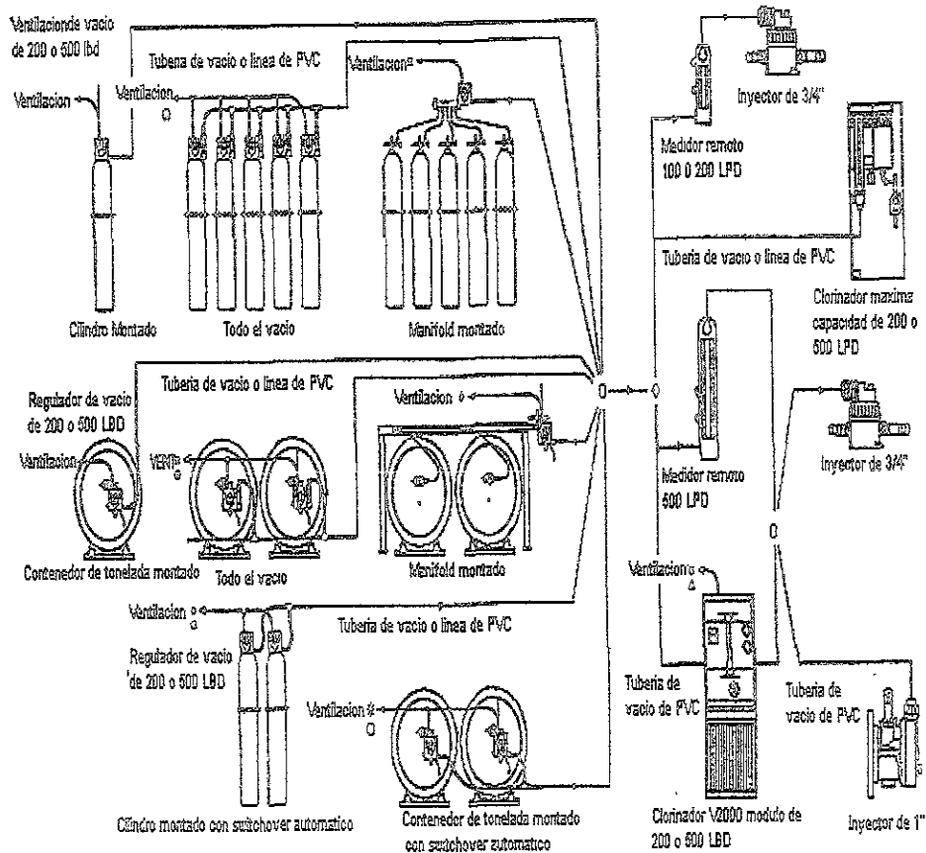
REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DEL INYECTOR HIDRÁULICO
OPERACIÓN PARA EL SONICO S10k – INYECTOR DE GARGANTA FIJADA DE 1"

PRESIÓN DE ENTRADA DEL INYECTOR VS SELECCIÓN DE LA GARGANTA Y DE LA TOBERA

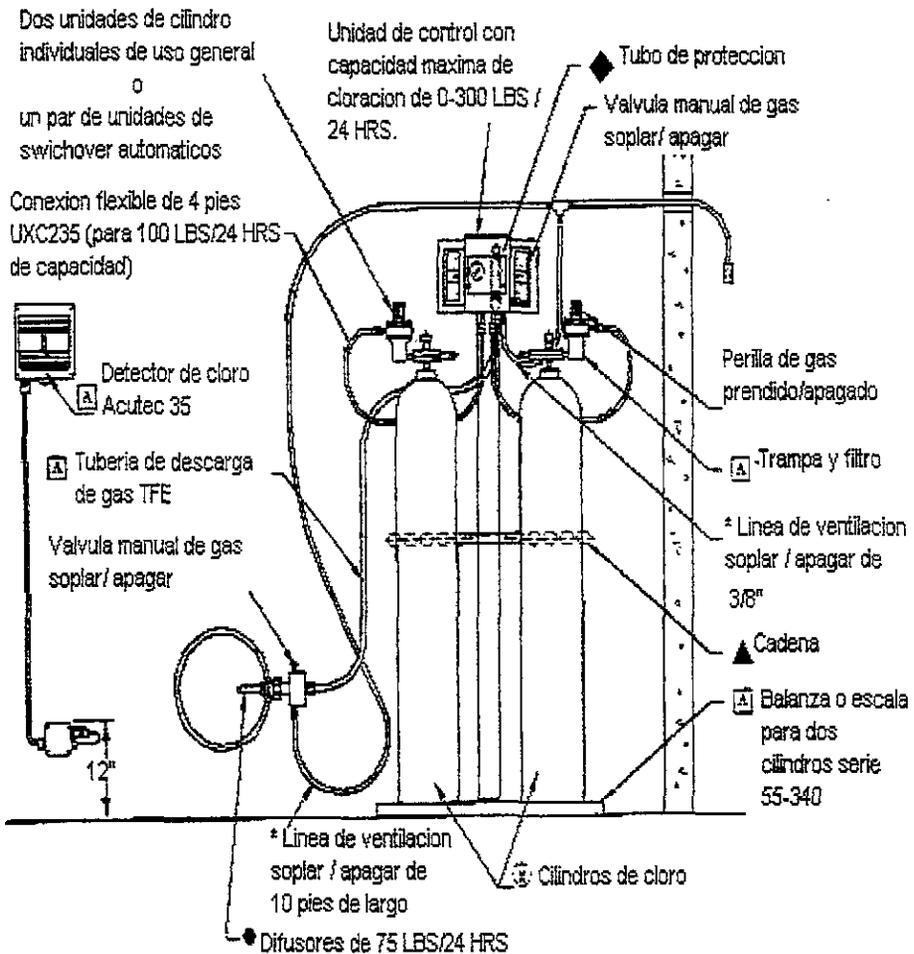
	0	25	5	10	20	40	60	80	100	120	140	160	
500	90 242-K 55 312-L	95 242-K 55 312-L	100 242-K 60 312-L	155 193-J 115 242-K 70 312-L	195 193-J 130 242-K 85 312-L	235 193-J 160 242-K 120 312-L	260 193-J 180 242-K 155 312-L	275 193-J 210 242-K 175 312-K	240 242-K 195 312-K	285 242-K 220 312-K	255 312-K		
400	190 165-H 100 193-J 55 242-K 50 312-L	190 165-H 100 193-J 65 242-K 50 312-L	190 165-H 110 193-J 70 242-K 50 312-L	195 165-H 120 193-J 80 242-K 60 312-L	205 165-H 140 193-J 95 242-K 70 312-L	225 165-H 175 193-J 125 242-K 100 312-L	250 165-H 210 193-J 155 242-K 125 312-K	270 165-H 240 193-J 175 242-J 150 312-K	300 165-H 280 193-J 200 242-J 180 312-K	230 242-J 210 312-K	265 242-J 245 312-K		
300	195 140-G 100 165-H 80 193-J 45 242-K 30 312-L	195 140-G 100 165-H 70 193-J 45 242-K 30 312-L	165 140-G 105 165-H 80 193-J 50 242-K 30 312-L	200 140-G 115 165-H 90 193-J 55 242-K 30 312-L	205 140-G 130 165-H 110 193-J 75 242-K 60 312-K	225 140-G 150 165-H 130 193-J 110 242-K 85 312-K	225 140-G 190 165-H 165 193-J 130 242-J 115 312-K	275 140-G 230 165-H 185 193-J 160 242-J 145 312-K	300 140-G 275 165-H 210 193-J 185 242-J 175 312-K	240 193-H 220 242-J 210 312-K	265 242-J 245 312-K	270 312-K	
250	125 140-G 70 165-H 55 193-J 35 242-K 30 312-L	125 140-G 75 165-H 60 193-J 35 242-K 25 312-L	125 140-G 80 165-H 60 193-J 40 242-K 35 312-L	130 140-G 85 165-H 70 193-J 50 242-K 35 312-L	150 140-G 100 165-H 85 193-J 70 242-K 55 312-K	180 140-G 135 165-H 100 193-J 95 242-J 85 312-K	200 140-G 165 165-G 145 193-H 125 242-J 115 312-K	235 140-G 190 165-G 175 193-H 155 242-J 145 312-K	285 140-G 230 165-G 205 193-H 185 242-J 175 312-K	270 165-G 235 193-H 215 242-H 210 312-K	300 165-G 275 193-H 240 312-K	265 242-H 270 312-K	
200	85 140-G 50 165-H 30 242-K 21 312-L	130 120-F 95 140-G 55 193-J 35 242-K 21 312-L	130 120-F 100 140-G 60 193-J 35 242-K	145 120-F 110 140-G 70 165-H 65 193-J 45 242-K 35 312-L	160 120-F 125 140-G 95 165-H 83 193-J 60 242-K 50 312-K	180 120-F 150 140-G 125 165-G 115 193-H 90 242-J 80 312-K	210 120-F 185 140-G 165 165-G 165 193-H 155 242-J	260 120-F 225 140-G 185 165-G 165 193-H 155 242-J	295 120-F 270 140-G 225 165-G 205 193-H 175 242-H	260 165-F 220 163-G 205 242-H	265 165-F 250 193-G 225 242-H	300 165-F 275 193-G 260 242-H	
150	75 120-F 55 140-G 40 165-H 35 193-J 25 242-K 15 312-L	85 120-F 60 140-G 45 165-H 20 242-K 18 312-L	90 120-F 65 140-G 50 165-H 23 242-K	105 120-F 75 140-G 65 165-H 30 242-J	120 120-F 95 140-G 85 165-G 70 193-J 50 242-J	145 120-F 135 145-G 110 165-G 105 193-J 85 242-J	180 99-E 155 140-F 145 165-G 130 193-H 110 242-H	225 99-E 180 140-F 180 165-G 160 193-G 140 242-H	265 99-E 215 140-F 210 165-F 175 193-G 170 242-H	285 120-E 255 140-F 220 163-G 205 193-F 200 242-H	290 140-F 260 165-F 240 193-G 225 242-H	295 165-F 270 193-G 260 242-H	
100	70 99-E 80 120-F 45 140-G 30 165-H 25 242-J 15 312-K	80 99-E 55 120-F 30 165-H 20 242-J 17 312-K	85 99-E 70 120-F 60 140-G 35 165-H 25 242-J 20 312-K	100 99-E 85 120-F 65 140-F 45 165-H 40 193-J 30 242-J	115 99-E 95 120-F 80 140-F 60 165-G 45 242-J	140 99-E 135 120-F 110 140-F 100 165-G 90 193-G 80 242-J 75 312-K	180 99-E 155 120-E 145 140-F 125 165-F 115 193-G 110 242-H	220 99-E 185 120-E 180 140-F 155 165-F 145 193-G 140 242-H	265 99-E 215 120-E 180 165-F 170 193-G 165 242-H	245 120-E 220 140-E 200 193-G	260 120-E 250 165-F 235 193-G 225 242-H	290 165-F 265 193-G 260 242-H	
75	145 70-C 70 99-E 50 120-F 30 140-F 25 193-H 20 242-J 10 312-K	160 70-C 75 99-E 60 120-F 35 140-F 30 165-F 20 242-J 15 312-K	170 70-C 80 99-E 70 120-F 40 140-F 35 165-F 30 193-H 23 242-J 18 312-K	185 70-C 90 99-E 70 120-F 40 140-F 45 165-F 40 193-H 30 242-J 25 312-K	210 70-C 105 99-E 95 120-F 75 140-F 60 165-F 50 193-H 45 242-J	240 70-C 135 99-E 120 120-E 100 140-F 90 165-F 85 193-G 80 242-J 75 312-K	265 70-C 175 99-D 145 120-E 135 140-F 120 165-F 110 193-G	285 70-C 195 99-D 180 120-E 170 140-F 150 165-F 145 193-G 140 242-H	300 70-C 225 99-D 215 120-E 205 140-F 180 165-F 170 193-G 165 242-H	255 99-D 245 120-E 220 140-E 200 193-G	285 99-D 260 120-E 250 140-E 230 193-G 225 242-H	282 140-E 265 193-G 260 242-H	
50	85 70-C 40 99-D 35 120-F 25 140-F 20 193-H 20 242-H	100 70-C 60 99-E 40 120-F 35 140-F 30 165-F 25 193-H 20 242-H	110 70-C 80 99-E 60 120-F 50 140-F 45 165-H 35 193-H 30 242-H	125 70-C 75 99-E 60 120-F 50 140-F 45 165-H 35 193-H 30 242-H	150 70-C 95 99-D 75 120-E 70 140-F 55 165-F 50 193-H 45 242-H	185 70-C 115 99-D 105 120-E 100 140-F 85 165-F 75 242-H	210 70-C 145 99-D 140 120-E 120 140-E 110 165-F 105 242-H	235 70-C 175 99-D 170 120-E 150 140-E 145 193-G 135 242-H	275 70-C 180 140-E 165 242-H	275 70-C 220 120-E 215 140-E 200 193-G	245 99-D 220 120-E 215 140-E 200 193-G	280 99-D 250 120-D 245 140-E 230 193-G 225 242-H	280 120-D 275 140-E
30	60 70-C 30 120-E 20 140-F 15 165-F	70 70-C 40 99-E 35 120-E 30 140-F 25 165-F	80 70-C 40 99-E 40 120-E 35 140-F 22 165-F	95 70-C 55 99-D 45 140-F 35 165-F	115 70-C 65 99-D 55 140-F 50 165-F	145 70-C 105 99-D 100 120-E 85 140-E 80 165-F	175 70-C 135 99-D 125 120-E 120 140-E 110 165-F	215 70-C 165 99-D 155 120-E 150 140-E 140 165-F	235 70-B 210 99-C 180 120-E 175 140-E 170 165-F	260 70-B 210 99-C	285 70-B 240 99-D	270 99-C	
20	40 70-C 22 120-E 18 140-E	55 70-C 30 120-E 20 140-F	60 70-C 40 99-D 30 120-E 25 140-F	70 70-C 45 99-D 40 120-E 35 140-F	90 70-C 55 120-E 50 140-E	125 70-C 100 99-D 90 120-D 85 140-E	160 70-B 130 99-C 120 120-D	185 70-B 155 99-C 150 120-D	210 70-B 175 140-E	245 70-B 210 99-C	280 70-B 235 99-C	260 99-C	
10	35 70-C 20 99-D 18 120-D	40 70-C 24 99-D 21 120-D	45 70-C 30 99-D 24 120-D	55 70-C 35 99-D	75 70-C 55 99-C	105 70-B 85 99-C	135 70-B 110 99-C	165 70-B 145 99-C	200 70-B 170 99-C	230 70-B 200 99-C	270 70-B 230 99-C	260 99-C	

L
B
D
E
C
L
O
R
O
P
O
R
D
I
A

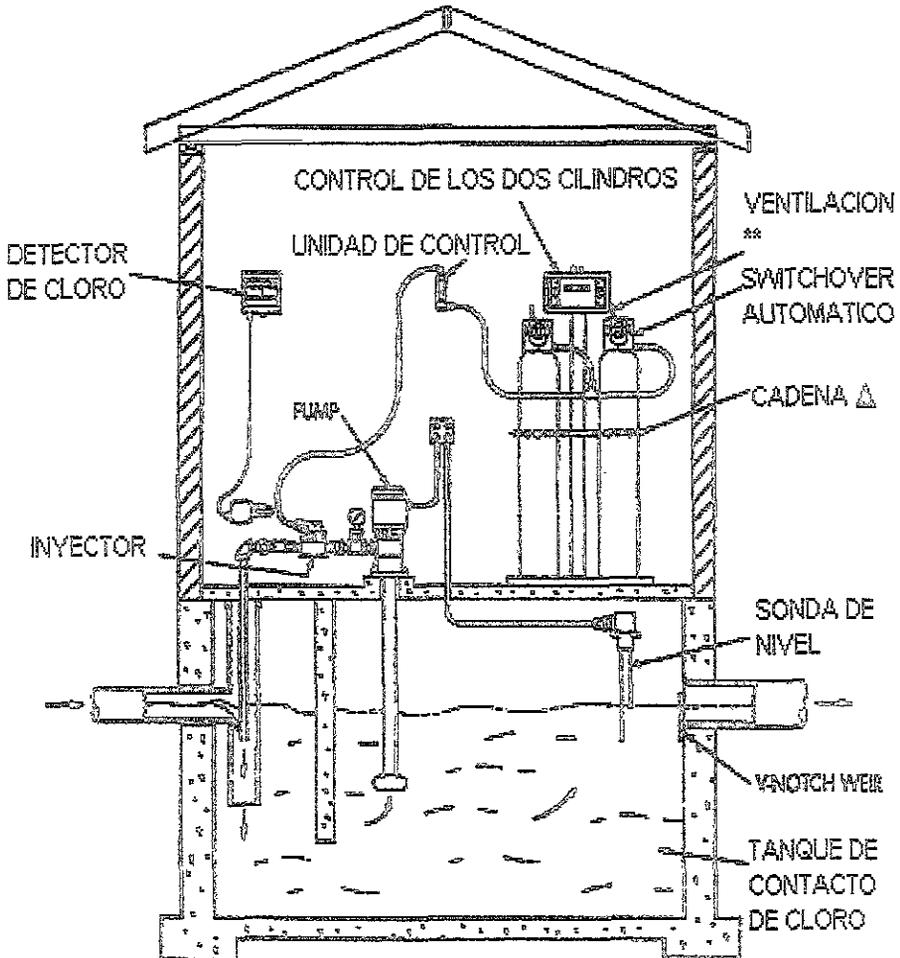
ARREGLO GENERAL PARA GAS CLORO



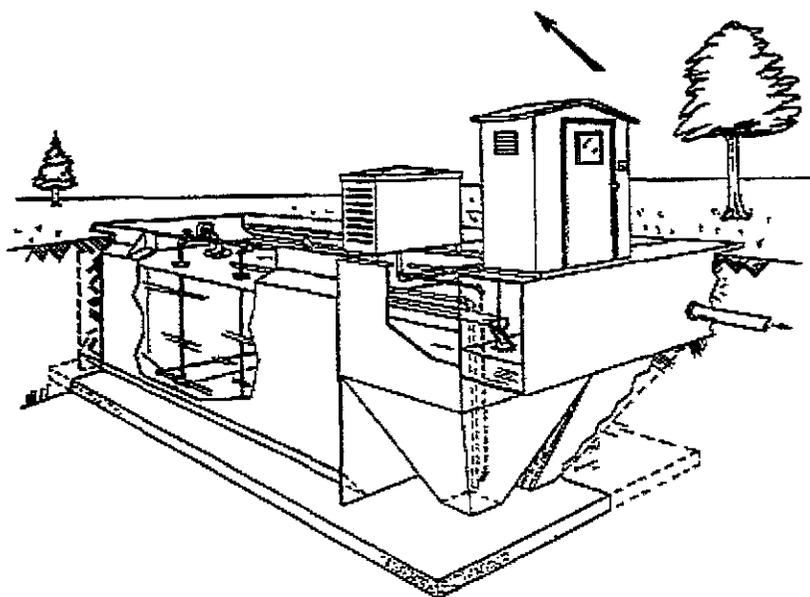
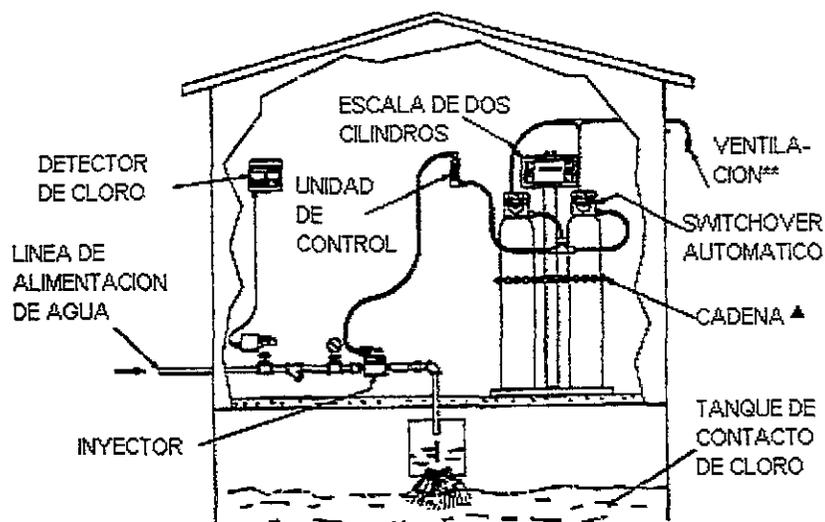
BÁSCULA PARA MONTAR DOS CILINDROS CON TUBERÍA FLEXIBLE DE GAS CLORO



CLORINADOR S10K EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

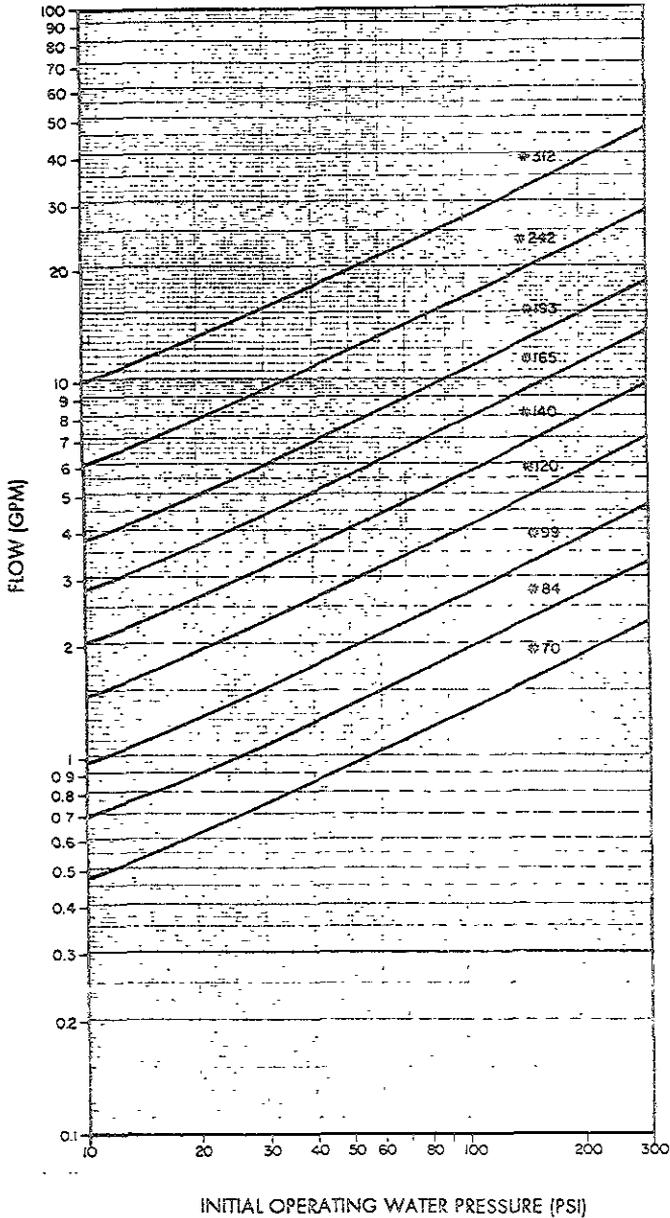


CLORACIÓN EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

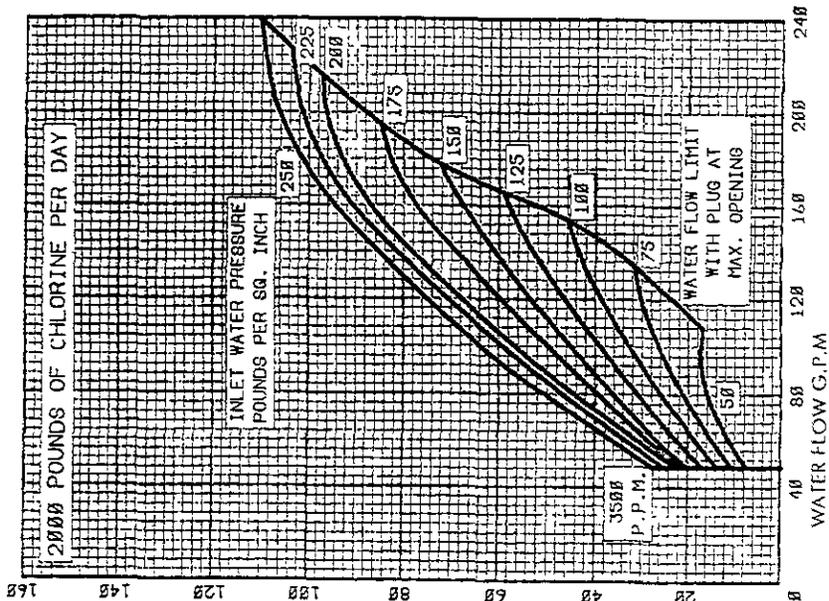
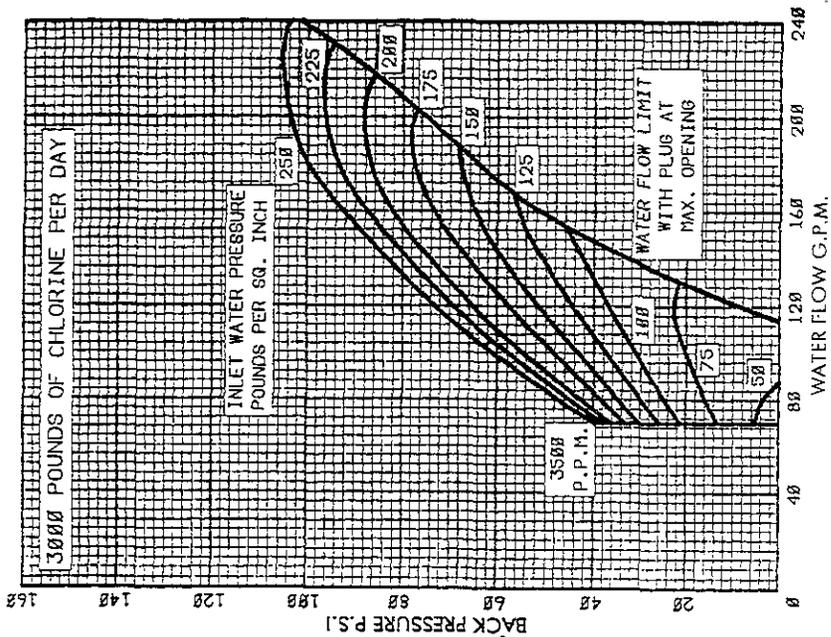


INYECTOR DE GARGANTA FIJADA 1" Y 3/4"

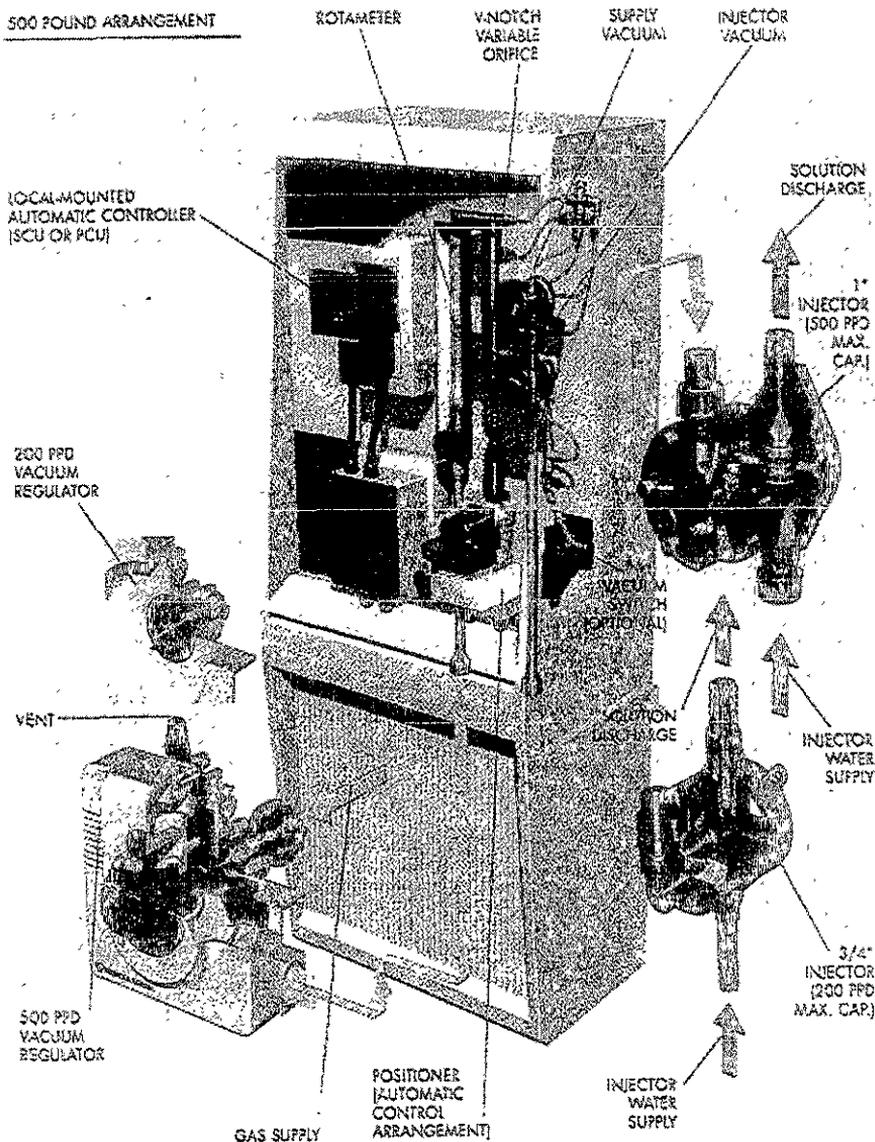
OPERATING WATER VS. THROAT SIZE



INYECTOR CON GARGANTA VARIABLE DE 2" GARGANTA LARGA

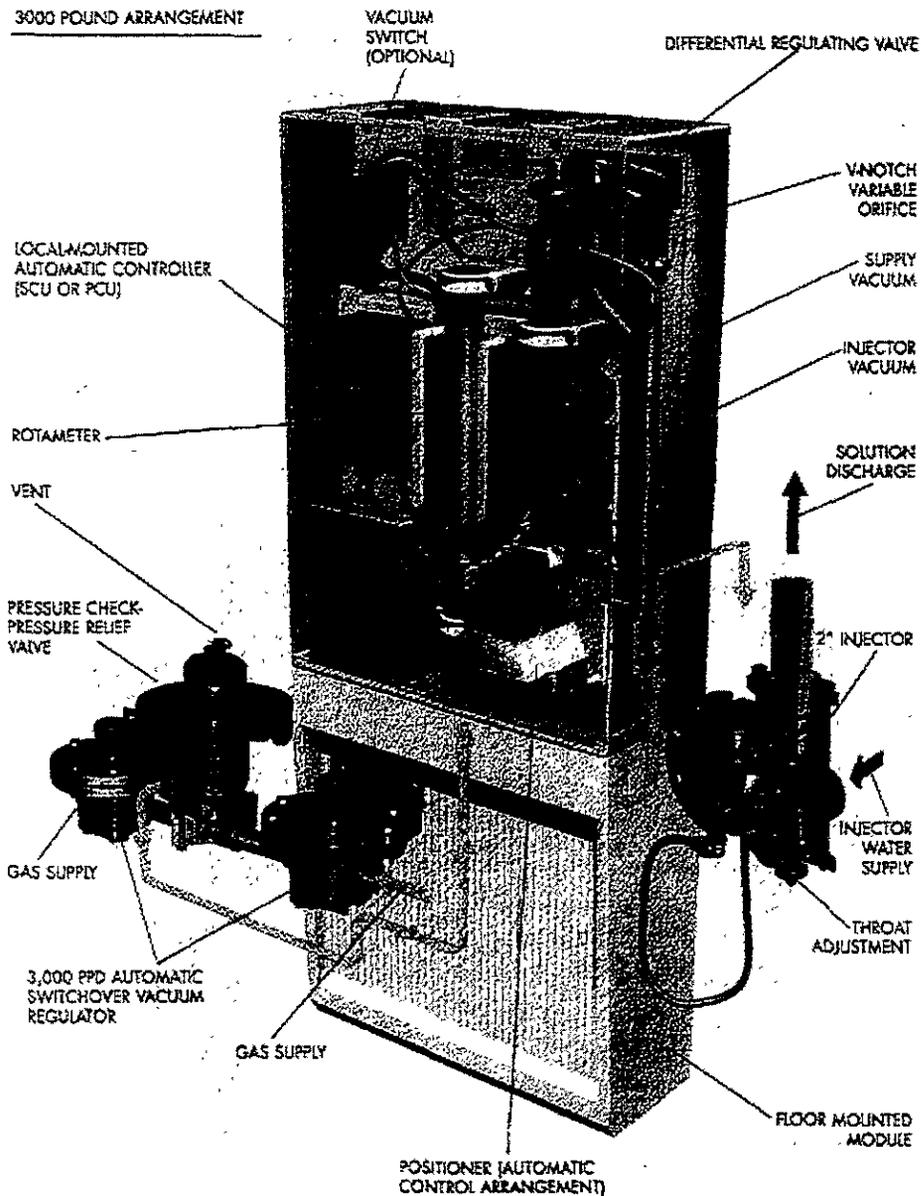


DOSIFICADOR DE 500 LIBRAS POR DÍA



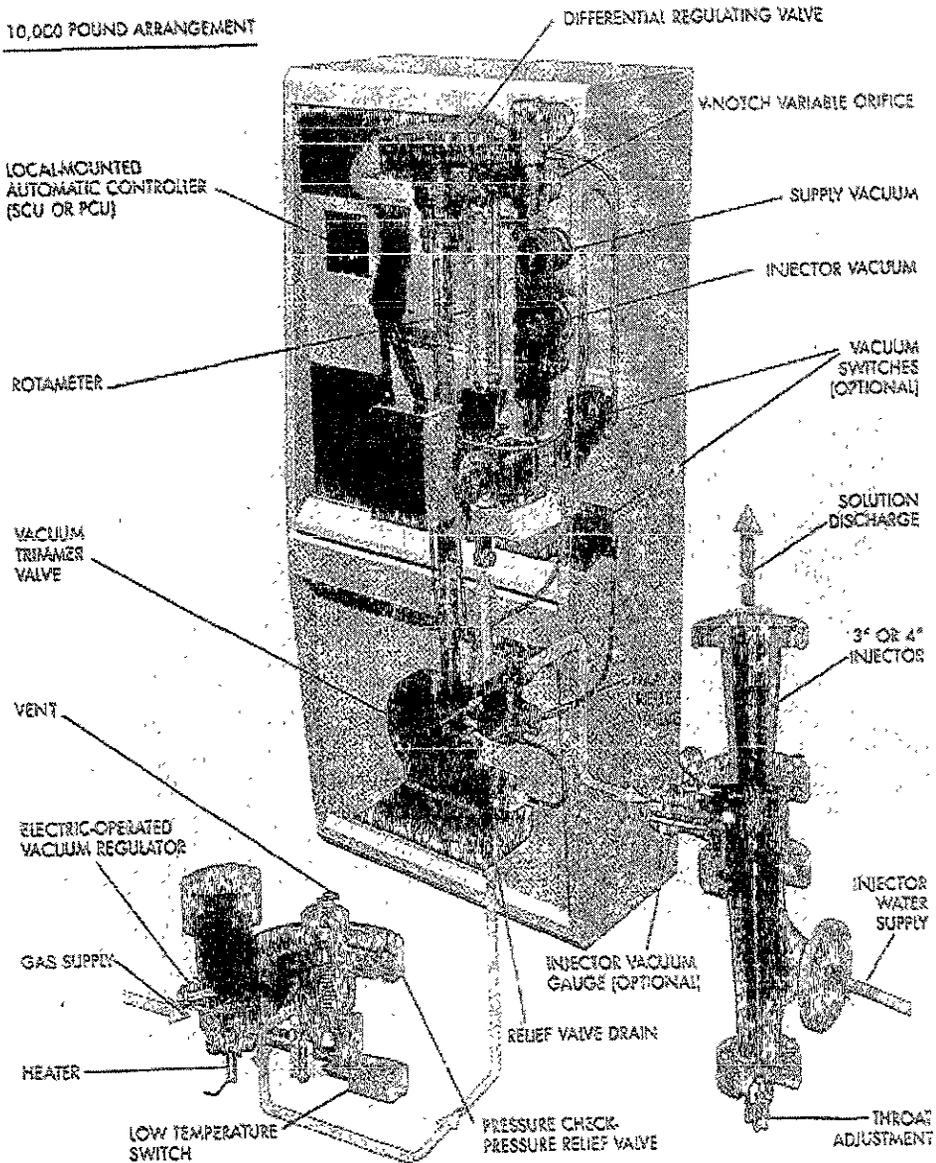
DOSIFICADOR DE 3,000 LIBRAS POR DÍA

3000 POUND ARRANGEMENT



DOSIFICADOR DE 10,000 LIBRAS POR DÍA

10,000 POUND ARRANGEMENT



INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPO DE DOIFICACION S10K CLORINADOR SÓNICO

INTRODUCCIÓN

El S10K es un clorinador de operación por vacío, conformado por una unidad regulada sónicamente. La montura directa del cilindro pone la válvula reguladora de vacío directamente en la fuente, reduciendo la presión del gas a una aspiración inmediata. Sirve para aplicaciones de alimentación de gas de baja capacidad a un costo reducido para tratamiento y desinfección de aguas residuales, y agua municipal e industrial. Su habilidad para manejar todos los gases de tratamiento de aguas, así como su configuración para montaje flexible para cilindros, tubo múltiple o contenedores de tonelada, lo hace ser sumamente versátil para todo tipo de instalaciones.

Existen dos configuraciones básicas disponibles de este clorinador, en capacidades de 200 y de 500 libras por día de gas cloro. Con menos accesorios interiores, puede confiar que el S10K dará un servicio eficaz y confiable.

CARACTERÍSTICAS

Indicación segura de estatus de operación



Los símbolos son fáciles de entender y dan indicación positiva del estatus del cilindro. El operador puede saber con sólo echar un vistazo si el contenedor está operando en el modo *standby* (en caso de *switchover* automático), si está vacío o apagado.

Apagado seguro

La posición en *OFF* en la carátula del regulador permite un apagado seguro. Los contenedores se pueden cambiar sin permitir que entre aire, polvo o humedad en la unidad de control y sin tener que apagar el inyector.



Revisión secundaria singular

El regulador de 500 LPD incluye una función singular de revisión secundaria diseñada para confinar el gas bajo presión si la primera válvula no llegara a fijarse completamente debido a la contaminación. Esto minimiza la posibilidad de liberar gas en la atmósfera.

Switchover automático incluido

Con este switchover no hay necesidad de tener interruptores externos. Esta característica de inclusión permite que los cilindros puedan ser vaciados totalmente para obtener un consumo completo de gas.

Montura universal de yugo

Una singular grapa en forma de yugo facilita la alineación y la conexión del clorinador a la salida de la junta de la válvula del contenedor. El yugo áspero está diseñado según las recomendaciones del Instituto del Cloro de USA. Un diseño de yugo similar se utiliza para los cilindros de amoníaco. Un paquete para contenedor de tonelada incluye un pie de goteo para recibir los chorros iniciales de líquido, un calentador para evaporación y un filtro reemplazable.

Trata todos los gases de tratamiento de aguas

La unidad puede tratar todos los gases típicos de tratamiento de aguas como son el de cloro, dióxido de sulfuro, dióxido de carbono y amoníaco.

Rotámetros desmontables

Están disponibles dos tamaños de rotámetros, de 3" y de 5", en 15 capacidades entre 1.2 – 500 LPD de cloro (capacidades comparables para otros gases). Estos medidores de flujo pueden ser parte integral de la unidad o estar montados aparte para dar mayor flexibilidad de instalación. Los rotámetros pueden colocarse en grupo para múltiples puntos de aplicación.

DATOS TÉCNICOS

Fácil instalación, operación y mantenimiento

El clorinador S10K es de diseño sencillo, compacto y fácil de manejar. La instalación del inyector requiere únicamente una conexión al abastecimiento de agua y manguera de plástico que vaya a un conducto o canal abierto. Una manija de ajuste en el rotámetro cambia la tasa de alimentación de gas que se indica en una escala de alta resolución de 3" o 5".

Exactitud

La alimentación de gas es de +/- 4% del flujo indicado.

Rango de operación

Manual es de 20:1 para cualquier medidor de flujo.

Automático es de 10:1

Modos de control

Control manual, encendido-apagado o programa, flujo proporcional, residual directo, loop compuesto, control de tasa múltiple y operación de puntos múltiples.

Distancia, Abastecimiento a la Unidad de Control

Para mayor flexibilidad no se hace necesario la instalación de la válvula reguladora de vacío cerca de la unidad de control. Puede estar colocada hasta varios cientos de pies de la unidad de control de gas, dependiendo de la tasa máxima de alimentación, el diámetro de la tubería de conexión o manguera y de los requerimientos de funcionamiento del sistema.

Agua operada por inyección

El agua operada por inyección debe de estar razonablemente limpia. Los inyectores son del tipo de diferencial de cuello fijo. La presión máxima de entrada es de 300 psi a un máximo de 100°F; 150 psi a un máximo de 130°F.

Presión en el punto de aplicación

La presión máxima con manguera o tubo de polietileno es de 75 psi. Manguera de alta presión o tubería rígida permite una aplicación de presión de 75 a 160 psi. Una bomba de solución colocada después del inyector permitirá la aplicación a una presión más alta.

Piscinas

Existen paquetes especiales para piscinas no residenciales.

CONTROL AUTOMATICO

El S10K puede ajustar el control automático de tasa de alimentación de un esquema sencillo a uno complejo. El sistema de control consiste de un actuador y de un SCU (Unidad de Condicionamiento de Señal) o de un PCU (Unidad de Control de Proceso).

SCU

- Modos de operación: Flujo proporcional, manual.
- Entradas: 4-20mA DC (del transmisor de flujo).

- Salidas: Control hacia el actuador; también salidas 4-20mA para retransmisión de tasa de alimentación de gas (posición del actuador).
- Capacidad de Control: Escalas de dosis y de flujo.

PCU

- Modos de operación: retroalimentación de residual directo, loop compuesto, alimentación en avance, flujo proporcional, manual.
- Rangos: Puntos de establecimiento hasta 50 mg/lit y capacidad centro-cero para desclorinización.
- Lógica de control: Proporcional e integral con retraso.
- Alarmas: 4 alarmas que pueden ser configuradas por el usuario para 16 condiciones distintas.

OPCIONES

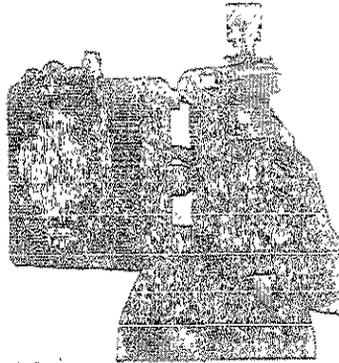
Las opciones incluyen: conexiones y válvulas de cilindros; válvulas de cabezal con tubería múltiple y conexiones; escape o respiradero; inyector de agua y tubería y grapas de salida del inyector; conexiones para el conducto; válvulas solenoides; calibrador de presión de agua en la tubería; switch y alarma para presión de alto vacío; mascarilla contra gas; detectores de cloro; analizadores en línea; básculas para dos cilindros, paquetes de pruebas residuales, calibradores para el inyector de vacío y partes de repuesto.

Advertencia de gas de cloro

Todos los contenedores de gas de cloro y equipo de clorinación deben revisarse continuamente para detectar alguna fuga. Deben de instalarse en el lugar detectores sensibles al cloro, que responden rápidamente al cloro en atmósfera.

Advertencia de dióxido de carbono

La válvula reguladora de vacío no puede ser montada directamente en el contenedor de dióxido de carbono debido a la alta presión que existe en estos contenedores. Se deben instalar una válvula para reducir la presión y una válvula de escape entre el contenedor y la válvula reguladora de vacío.



ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DEL CLORINADOR S10K

DESCRIPCIÓN GENERAL

El alimentador de gas debe ser un S10K, Wallace & Tiernan Products; debe ser del tipo de operación por vacío y regulado sónicamente. Este clorinador debe constar de un regulador de vacío, medidor de flujo con válvula de rango e inyector. Debe de tener una capacidad máxima de (200) (500) libras por día (cloro) (dióxido de sulfuro) (amoníaco) (dióxido de carbono. Debe ser controlado (manualmente) (automáticamente) y tener un rango de alimentación de (20:1 manual) (10:1 automático), y una capacidad para controlar dentro de un \pm 4% de la tasa de alimentación indicada.

REGULADOR DE VACÍO

Diseño

El regulador de vacío montado en: (cilindro) (tubería múltiple) (contenedor de tonelada) debe estar medido para (200 LPD) (500 LPD) de cloro. Debe constar de un regulador de vacío diseñado para reducir el abastecimiento completo de presión a un aspirador sin que necesite un respirador. Un yugo de fácil alineación debe añadirse como parte integral del regulador de vacío. La unidad debe constar de una manija selectora y símbolos que indiquen el estatus del contenedor de gas cloro. Debe de tener una posición de apagado para aislar el diafragma y los componentes interiores del aire de

la atmósfera cuando el operador cambie los contenedores. Así mismo, debe de tener un escape de presión interno. (Tiene que tener un pie de goteo con filtro removible y un calentador de 110 voltios para montura de un contenedor de tonelada). La unidad de 500 LPD deberá incluir una revisión secundaria para prevenir que el gas bajo presión se ventile hacia la atmósfera. En caso de fuga, la válvula de revisión deberá cerrarse después de la primera válvula.

Switchover automático

Deberá facilitarse un switchover automático para cambiar a un nuevo abastecimiento una vez que el abastecimiento en línea se haya completado. También debe de haber un par de válvulas reguladoras de vacío con capacidad integrada para un switchover. La válvula reguladora deberá incluir un distensor mecánico para mantener el abastecimiento del gas en *standby* listo para servicio en línea. Cuando el cambio se haya realizado, deberá de seguir saliendo gas de la anterior fuente hasta que los contenedores estén vacíos. No se aceptará un switchover separado. Cada regulador deberá incluir indicaciones de fácil lectura de las posiciones *stand-by*, operación, vacío y apagado.

UNIDAD DE CONTROL

Deberá integrarse un ensamblaje de medición de flujo de (3") (5") con una válvula de medición de muesca en V, y deberá poder montarse en el mismo lugar o alejado de la unidad. Se debe tomar en cuenta el uso de marcos interconectados de medidores de flujo para múltiples puntos de alimentación. El tubo del medidor de flujo debe poder recibir mantenimiento sin que haya que quitar el marco de su montura.

INYECTOR

Cada alimentador de gas deberá tener un cuello fijo de PVC (3/4") (1) con la medida del inyector (200 LPD) para generar el vacío de operación del sistema. Debe de tener integrada una válvula de chequeo secundario para prevenir que el agua inunde el regulador de vacío. El inyector debe incluir un soporte de montura integral; debe ser capaz de montarse ya sea en plano vertical o en plano horizontal.

CONTROLES AUTOMÁTICOS

Cada alimentador de gas deberá ser provisto con un sistema integral de control automático que conste de un controlador electrónico con funciones, un posicionador de muesca en V, un rotámetro de 5" y una cámara de muesca en V. El posicionador moverá el enchufe de muesca en V y deberá tener un motor reversible con sobreprotección de carga termal, sobre marcha mecánica, potenciómetro de retroalimentación, contactos opcionales y accesibilidad frontal para mantenimiento. El posicionador, la cámara de muesca en V y el rotámetro de 5" deberán ir montados en un lugar lejos del área de almacenaje de gas. El posicionador y el controlador deben de estar localizados en recintos NEMA 4X.

SCU Controlador de Flujo Proporcional

El controlador de flujo proporcional debe estar basado en un microprocesador con un recinto NEMA 4X. Deberá aceptar una señal de entrada de proceso variable 4-20 mA. La interfase del usuario deberá incluir una clave de membrana y un display iluminado LCD.

**PRECIOS QUE SE MANEJAN EN EL MERCADO DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS
DE CLORINACION**

UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
1 Pza.	<p>Clorador. Marca: Wallace and Tieman. Modelo: V2000. Capacidad: 908 kg. Consta cada uno de lo siguiente: 1 Gabinete con unidad de control. 1 Rotómetro 908 kg/día. 1 Sistema de cambio automático de cilindros que consta de: 2 válvulas reguladoras de vacío y 1 unidad check de alivio.</p>	\$ 11,352.00 USD
1 Pza.	Cilindro de Gas-Cloro; Capacidad 908 kg Incluye 1ra Carga.	\$ 2,822.00 USD
1 Pza.	<p>Detector de fugas de cloro. Marca: Wallace and Tieman. Modelo: Acutec 35, para 1 punto. Consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de control con alarma audible sonora • Fuente de poder. • Detector. • Sensor. • Batería alcalina. • Generador de gas autoprueba. 	\$ 1,947.00 USD
1 Pza.	<p>Equipo de respiración autónomo. Marca: MSA. Modelo: Ultralite II. Consta de cilindro de fibra de vidrio para 30 min. , pieza facial, manguera corrugada, regulador de presión, alarma audible, arnes para cilindro y estuche.</p>	\$ 2,486.00 USD
1 Pza.	<p>Mascara antigas tipo canister. Marca: MSA. Incluye: Pieza facial, estuche y un canister para cloro.</p>	\$ 350.00 USD

1 Pza.	<p>Kit "B" para Fugas de Cloro (Nacional) consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Capuchines, o largueros, o cadena de sujeción, o válvula para desgaste, o empaques. 	\$ 657.00 USD
1 Pza	Válvulas tipo yugo para tanques de tonelada.	\$ 233.00 USD
1 Pza	Conexión flexible	\$ 84.00 USD
1 Pza.	Válvula de cabesal.	\$ 64.00 USD
1 Pza	Válvula de línea de cloro de ¾".	\$ 469.00 USD
1 Pza	Filtro para línea de cloro de ¾"	\$ 331.00 USD
1 Pza.	Brida tipo amoníaco.	\$ 84.00 USD
1 Pza.	<p>Analizador de cloro residual Marca: Wallace and Tieman. Modelo: Micro 2000. Montaje en Gabinete, rango 0-2 mg/lit para agua residual.</p>	\$ 8,545.00 USD
1 Pza.	<p>Kit de refacciones para clorador. Marca: Wallace and Tieman. Modelo: V2000.</p>	\$ 145.00 USD
1 Pza.	<p>Kit de refacciones para inyector de 1" de diámetro. Marca: Wallace and Tieman.</p>	\$ 152.00 USD
1 Pza.	<p>Kit de refacciones para válvula de vacío. Marca: Wallace and Tieman.</p>	\$ 152.00 USD

**PRECIOS QUE SE MANEJAN EN EL MERCADO DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS
DE CLORINACION**

UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
1 Pza.	Clorador automático marca Wallace and Tieman modelo V10K V-notch capacidad de 200 lbs/día, incluye panel de control con actuador eléctrico Automático, montaje en pared, inyector de alta ¾" con garganta y tobera, rotámetro de 5", 8 mts. de tubing de vacío, 3 mts. de tubing de venteo, conectores básicos, empaques de plomo, llave de cilindro, amoniaco, kiff de mantto para unidad de control.	\$ 3,661.00 USD
1 Pza.	Sistema de cambio automático, que incluye: 2 válvulas reguladoras de vacío de cambio automático, modelo 2109; marca Wallace and Tieman.	\$ 1,950.00 USD
1 Pza.	Adaptador con pierna de goteo, filtro y evaporador de cloro, 115 VCA, 60 HZ, Wallace and Tieman.	\$ 325.00 USD
1 Pza.	Controlador de proceso P.C.U. marca Wallace and Tieman: publicación TI 4000.2000A tipo microprocesador con setpoint para residual de cloro en PPM, 9 rangos de operación hasta 50 PPM, display digital alfanumérico con menú de operación, 4 relay de alarmas, caja nema 4X, autodiagnóstico, montaje en el panel del clorador o en pared.	\$ 2,874.00 USD
1 Pza.	Panel de alarmas en gabinete plástico de 45x45 cm., 30 luces piloto amarilla y verde 30 placas de identificación, alarma sonora activada por cualquier señal, prealambrado.	\$ 800.00 USD
1 Pza.	Analizador de cloro residual marca Wallace and Tieman modelo micro-2000, montaje en pared, medición amperométrica, sensibilidad 0.001 mg/lt, rangos de mediciones 0 - 0.10, 0 - 0.2, 0 - 0.50, 0 - 1.0, 0 - 2.0, 0 - 5.0, 0 - 10.0, 0 - 20.0, 0 - 50.0 PPM, señal de salida 4-20 MA, 3 Relays de alarmas externas, display alfanumérico, control electrónico tipo microprocesador, menú de funciones y autodiagnóstico, celda de tres electrodos para muestreo en platino y planta.	\$ 6,750.00 USD
1 Pza.	Equipo para detección de cloro gas marca Wallace and Tieman serie Acutec35 con rango estándar de 0 - 10 PPM, rango mínimo de 0 - 5 PPM,	\$ 3,589.00 USD

	rango máximo de 0 –5 0 PPM con auto prueba generador de gas y batería de respaldo, monitor digital para dos puntos de detección y autotest.	
1 Pza.	Múltiple de descarga para conectar dos cilindros de cloro formado por 2 válvulas auxiliares de cilindro de 908 kg, 2 conexiones flexibles de 3/4" x 1.20 mts de largo, 3 válvulas de cabezal, tubo, codo, tee, tapón en acero al carbón ced. 80 de 1" incluye soporte de montaje al piso	\$ 937.00 USD
1 Pza.	Filtro para cloro de 1" marca Wallace and Tiernan.	\$ 477.00 USD
1 Pza.	Válvula de línea de 1" Wallace and Tiernan.	\$ 347.00 USD
1 Pza.	Unión tipo amoníaco de 1" Wallace and Tiernan.	\$ 87.00 USD
1 Pza.	Cilindro para cloro de 908 kg de capacidad Incluye 1ª carga. L.A.B. (libre a bordo) México D F.	\$ 2,559.00 USD
1 Pza.	Modulador – transmisor de consumo de gas cloro con señal de salida de 4-20 MA (automático) alimentación de 127 VCA, 60 HZ, con accesorios para conectarse al clorador V10K.	\$ 2,536.00 USD
1 Pza.	Bomba dosificadora Wallace and Tiernan modelo encore 700 para manejo de sulfato de aluminio líquido, con capacidad de 77 GPH motor de 3/4 HP, 130 PSI de descarga, 1725 RPM, 120-240 VCA, 60 HZ, con actuador eléctrico para control automático por longitud de carrera transmisión por polea, válvulas tipo cartucho y cabezal en PVC.	\$ 5,572.00 USD
1 Pza.	Tanque contenedor marca Rotoplas capacidad de 10,000 lts para manejar sulfato de aluminio líquido, material polietileno alta densidad reforzado al 20%.	\$ 1,500.00 USD
1 Pza.	Sistema mezclador de polímero marca Wallace and Tiernan modelo Maxiyield 1/100, rango de dosificación de polímero neto 0.01 – 1 GPH, rango de agua de dilución 100GPH, incluye bomba manual de cebado, caja Nema 3 R, servicio exterior ABS, con bomba dosificadora, rotámetro de medición de flujo de agua, switch de presión, válvula check, válvula de paso, válvula solenoide, válvula antisifon, mezclador, control lógico programable, retrolavado de autolimpieza automático, alimentación de 115 VCA, 60 HZ, viscosidad máxima 50,000 CPS.	\$ 6,588 00 USD
1 Pza.	Analizador de sólidos suspendidos, rango de medición 0 - 10%, 100 a	\$ 9,771 00 USD

	10,000 PPM 0.1 a 100 gramos/litro de lodos biológicos, doble salida de retrolavado, señal de salida 4 - 20 MA, compensación automática de temperatura, montaje del sensor de inmersión, y universal para el analizador, incluye Bracket de montaje.	
1 Pza.	Registrador de carta circular de 2 plumillas para montaje en pared, incluye 400 cartas y plumillas.	\$ 880.00 USD

- Precios en dólares americanos
- A los precios se les deberá agregar el 15% de I.V.A.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

PURIFICACIÓN DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES

II INGENIERÍA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES

Gordon Maskew Fair, John Charle Geyer, Daniel Alexander Okun

LIMUSA Grupo Noriega Editores

ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES

I INGENIERÍA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES

Gordon Maskew Fair, John Charle Geyer, Daniel Alexander Okun

LIMUSA Grupo Noriega Editores

WATER TREATMENT PRINCIPLES AND DESIGN

James M Montgomery, Consulting Engineers, Inc.

A Wiley-Interscience Publication, John Wiley and sons

WATER TREATMENT PLANT DESIGN

SECOND EDITION

American Society of Civil Engineers, American Water Works Asociation

Mc Graw-Hill Publishing Company

INGENIERÍA SANITARIA

TRATAMIENTO, EVACUACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES 2ª Edición.

Metcalf & Eddy, INC.

Editorial Labor, S.A.

WASTEWATER ENGINEERING

TREATMENT / DISPOSAL / REUSE SECOND EDITION

Metcalfe & Eddy, INC.

Mc Graw-Hill Book Company

WASTEWATER TREATMENT PLANT DESIGN

By a Joint Committee of the Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers, Third Printing 1991.

Manual of Practice No. 8, Manual of Engineering Practice No. 36

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

R.S. Ramalho, Faculty of science and Engineering Laval University

Editorial Reverté, S.A.

WASTEWATER DISINFECTION

Manual of Practice FD-10, Facilities Development

Water Pollution Control Federation 601 Wythe Street, Alexandria, Virginia 22314- 1994

TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: AGUAS DE PROCESO Y RESIDUALES

Miguel Rigola Lapeña

Marcombo Boixareu Editores

FUNDAMENTOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

T.H.Y. Tebbutt

Noriega Editores Limusa

MANUAL DEL AGUA

Frank N Kemmer, John McCallion, Nalco Chemical Company

Mc Graw-Hill / Interamericana de México S.A. de C.V.

EMPRESAS

WALLACE & TIERNAN

INGENIERIA Y SISTEMAS DEL AGUA

Calle 23 No. 111 Col. San Pedro de los Pinos

E-mail insiagua@bsmx.com

Tel: 55 98 48 10

Ing. Francisco Sevilla González

TV AZTECA

Javier Alatorre

Reportaje "La Última Gota"

11 Agostos de 1998

INDUSTRIAS MASS S.A. DE C.V.

Recursos Petroleros no. 5

Col. La Loma, Tlanepantla, Edo. de México

www.indmass.com.mx

WWW

AGUA Y CONTAMINACIÓN

David Reyes Ruvalcaba

Escuela de Salud Pública de México/ INSP

<http://www.insp.mx/salvia/9719/sal97192.html>