
FACULTAD DE QUIMICA

U. N. A. M.

SELECCION DE EQUIPO Y DETERMINACION DE
SISTEMAS PARA LA APLICACION DE CLORO EN
TRATAMIENTO DE AGUA.

T E S I S P R O F E S I O N A L

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

105

ROBERTO COSIO TENORIO

JOSE CRUZ TRISTAN GARCIA

México, D. F.

1976





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.

LAB. 70511
AGE 1970
FECHA 1970
PROC. 107 106



QUIMIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

A LA FACULTAD DE QUIMICA

EN TESTIMONIO DE AGRADECIMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

SELECCION DE EQUIPO Y DETERMINACION DE
SISTEMAS PARA LA APLICACION DE CLORO -
EN TRATAMIENTO DE AGUA.

ROBERTO COSIO TENORIO

JOSE CRUZ TRISTAN GARCIA

INGENIERO QUIMICO

1976

PRESIDENTE PROF. JORGE SPAMER GARCIA CONDE
V O C A L PROF. MARIO GUEVARA VERA
SECRETARIO PROF. JORGE A. CASTAÑARES ALCALA
1er. SUPLENTE PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO
2o. SUPLENTE PROF. GERARDO BAZAN VILLEGAS
SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA: WALLACE & -
TIERNAN DE MEXICO, S. A. MEXICO, D.F.


ROBERTO COSIO TENORIO.



JOSE CRUZ TRISTAN GARCIA



ASESOR; ING. MARIO GUEVARA



INDICE

Página

INTRODUCCION

CAPITULO I GENERALIDADES SOBRE CLORACION.

1.- CLORO

✓	A.- Propiedades físicas, químicas y usos generales.	1
	B.- Formas usuales en el comercio.	
	a) Cloro gaseoso	12
	b) Solución de hipoclorito de sodio.	13
	c) Hipoclorito de calcio sólido.	19
	d) Dióxido de cloro.	19
	C.- Manejo y seguridad del cloro.	
	a) Descripción de los recipientes de cloro.	21
	b) Medidas de seguridad.	26

2.- FUNDAMENTOS DE LA CLORACION.

✓	A.- Conceptos importantes.	33
	B.- Procesos de cloración.	
	a) Proceso del punto de ruptura.	37
	b) Proceso de cloro amoníaco.	42
	C.- Factores que influyen en la cloración	
	a) Tiempo de contacto.	46
	b) Concentración de organismos.	47
	c) Concentración del agente desinfectante	47
	d) Efecto de la temperatura.	49
	e) Eficiencia del poder desinfectante del HOCl y OCl ⁻	49
	D.- Métodos para determinar cloro residual - en el agua.	
	a) Método yodométrico.	50
	b) Método de la ortotolidina.	53
	c) Método de ortotolidina arsenito (O.T.A.)	57
	d) Método de titulación amperométrico.	58
	E.- Aplicaciones específicas.	

✓ a) Control de bacterias.	61
b) Control de sabores y olores.	62
c) Control de algas.	63
d) Eliminación de ácido sulfhídrico.	65
e) Eliminación de color.	66
f) Ayuda de coagulación.	67
g) Eliminación de fierro.	68
h) Eliminación de manganeso.	68
i) Mantenimiento de filtros limpios.	69
- j) Mantenimiento de la capacidad de las líneas principales de un sistema de agua potable.	70
k) Control de crecimientos orgánicos en camas zeolíticas.	71
l) Eliminación por oxidación de cloruros	71
m) Reducción por cloración de la demanda biológica de oxígeno.	73

CAPITULO II SELECCION, DESCRIPCION Y OPERACION DE EQUIPO

✓ 1.- SELECCION DEL EQUIPO DOSIFICADOR.	75
2.- DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO DOSIFICADOR.	
✓ A.- Clorador tipo solución.	82
B.- Clorador tipo gas directo.	87
✓ C.- Hipoclorador.	89

CAPITULO III DIVERSOS SISTEMAS DE CLORACION EN FUNCION - DEL METODO DE CONTROL.

1.- SISTEMA DE CONTROL MANUAL E INTERMITENTE, ARRANQUE Y PARO AUTOMATICO.	93
2.- SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACION POR PASOS.	103
3.- SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACION PROGRAMADO.	105
4.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PROPORCIONAL AL GASTO.	
A.- MEDIDORES PRIMARIOS DE GASTO.	
a) Ductos cerrados.	108
Medidor de orificio.	108
Tubo venturi	110
Tobera de flujo.	111

	Página
Tubo de Pitot.	111
Medidor de flujo de área variable	112
Medidor de fuerza.	112
Medidor magnético de flujo.	113
Medidor tipo hélice.	114
b) Ductos abiertos.	114
Parshall	
Vertedero	
B.- MEDIDORES SECUNDARIOS DE GASTO.	116
Convertidor de presión diferencial a vacío.	
Celda de presión diferencial.	
Elementos transmisores eléctricos.	
C.- CONTROLADOR Y ELEMENTO FINAL DE CONTROL	121
5.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO CON RELACION AL GASTO Y DEMANDA DE CLORO VARIABLES.	124
A.- ANALIZADOR DE CLORO RESIDUAL AMPEROMETRICO	126
a) Teoría de operación.	127
b) Descripción	
. Analizador de cloro residual para -- tratamiento de agua potable.	130
. Analizador de cloro residual para -- tratamiento de aguas negras.	132
. Analizador de cloro residual para -- tratamiento de aguas de enfriamiento	134
B.- DIVERSAS SEÑALES DE CONTROL.	136

CAPITULO IV APLICACION ESPECIFICA.

1.- CLORACION DE AGUAS DE ENFRIAMIENTO.

A.- Factores que influyen en la cloración de aguas de enfriamiento.	
a) Estudios biológicos.	143
b) Demanda de cloro.	147
c) Puntos de aplicación.	150
d) Frecuencia de cloración.	151
e) Duración del ciclo de cloración.	153
f) Efecto de la cloración en la madera de la torre de enfriamiento.	154
2.- SISTEMA DE CLORACION EN AGUAS DE ENFRIAMIENTO EN UNA REFINERIA.	
A.- Información proporcionada y problema expuesto.	154
B.- Determinación de la capacidad del equipo	
Descripción y operación del sistema.	156
C.- Resultados.	162

CAPITULO V.-	RELACION COMPARATIVA DE COSTOS DE REACTIVOS E INVERSION EN EQUIPO.	
1.-	CONSUMO ANUAL EN RELACION AL COSTO DE REACTIVO.	
A.-	Hipoclorito de sodio al 13% de cloro activo.	166
B.-	Cloro gaseoso licuado a presión 100% activo.	171
C.-	Hipoclorito de calcio al 70% de cloro activo.	171
2.-	INVERSION EN EQUIPO.	171
3.-	RESULTADOS.	172
CAPITULO VI.	CONCLUSIONES.	174
	BIBLIOGRAFIA.	

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE CLORACION.

INTRODUCCION

(Es un hecho curioso que no existe agua pura en la naturaleza, pues aún el agua de lluvia considerada de la mejor calidad, absorbe partículas minúsculas de hollín y de polvo del medio ambiente. Los mismos procedimientos de conducción y almacenaje para el suministro de abastos de agua, funcionan a la vez como medios de contaminación bacteriana.

No importa cual sea la fuente del abasto, es decir: río, lago, manantial, pozo hondo; siempre habrá riesgo de contaminación, y el agua contaminada, la que contiene microorganismos, constituye un posible origen de enfermedades hídricas. /

Este hecho fué originalmente reconocido por el Dr. Snow, en -
⁽²⁶⁾
1849 durante la epidemia de cólera en Londres. Declaró formalmente que el agua contaminada era el principal medio de transmisión de la enfermedad. Pero aunque millares de personas fallecieron, el médico no tuvo recursos para remediar la situación. Como iba a combatir la enfermedad si no conocía la existencia de las bacterias que la producían.

(Por lo tanto para evitar que el agua contaminada por microorganismos patógenos sea un foco de producción de enfermedades hídricas tales como, tifoidea, disentería y otras, hay que purificarla.)

(El hecho de que el agua filtrada a través de rocas y formaciones geológicas es más clara que otras en la superficie de la tierra fué notado, probablemente hace mucho tiempo,) por algún investigador interesado. Haciendo uso de los resultados de sus observaciones, empezó a filtrar artificialmente el agua para lograr los resultados de la naturaleza. Así es que en 1885, el profesor Per-

cy Frankland ⁽²⁶⁾ anunció que el procedimiento de filtración por arena podía eliminar casi todas las bacterias del agua.

(Según se fué progresando en los métodos de filtración, otros investigadores encararon el problema desde puntos de vista enteramente distintos. Teniendo en cuenta que no todas las aguas requieren filtración, y que aún filtradas han de ser tratadas por un método suplementario para considerarlas seguras contra la producción de enfermedades hídricas, un grupo de investigadores empezaron a estudiar la destrucción de bacterias, empleando desinfectantes.

El cloro resultó ser uno de primeros y más eficientes desinfectantes.)

El Investigador Francés de Morveau y el Inglés Cruikshank, ⁽²⁶⁾ descubrieron su valor alrededor del año de 1800. Desde ese tiempo el cloro en varias formas ha ocupado un lugar prominente como desinfectante.

Los compuestos del cloro, se prestaron más fácilmente en la práctica primeramente en vista de la dificultad de obtener cloro gaseoso y segundo transportarlo en forma comercial.

Durante la epidemia de tifoides en Lincoln, Inglaterra, en 1904-1905, se empleó por Sir. Alexander Houston y el Dr. Mc. Gowan ⁽²⁶⁾ una solución de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua en los filtros, y en los depósitos de agua.

En respuesta a los temores de la población de que la adición de cloro al agua resultara dañina, Houston colgó una pecera con peces en el agua del filtro, sin causarles daño.

Hoy día se sabe que no existe peligro alguno, especialmente tomando en consideración que la dosis es del orden de ppm. Esta pequeña cantidad de cloro basta para destruir las bacterias --

sin producir ningún otro efecto en el agua.

Por lo tanto se deduce la importancia de la aplicación del cloro (cloración) para desinfectar abastos de agua para su purificación.

(Su economía, seguridad y eficacia han contribuido enormemente a la desaparición de epidemias de enfermedades de origen hídrico.

Así mismo, la cloración en la actualidad, no se limita a la desinfección del agua, que es su principal aplicación, y que se considera hoy en día como un procedimiento indispensable, en redes de suministro de agua de grandes ciudades, y en general cualquier población por pequeña que sea. Actualmente la cloración además de desinfectar el agua para evitar enfermedades hídricas, es un procedimiento para el control de sabor, olor, mantenimiento de capacidad de red y otros beneficios.

(En general la cloración se emplea extensivamente, en la industria para obtener agua de la calidad necesaria en los procesos de fabricación de diversos productos y en la obtención de servicios. Podríamos considerar que la cloración se aplica prácticamente en todas las industrias con los siguientes fines específicos:

- 1.-) Obtención de agua potable.
- 2.-) Obtención de agua de elaboración.
- 3.-) Tratamiento de agua de enfriamiento.
- 4.-) Tratamiento de agua de desecho.

1.- La cloración para la obtención del agua potable permite evitar enfermedades, ya que destruye los microbios patógenos que las causan.

2.- Es de vital importancia la cloración para la obtención de agua de elaboración, o sea, la que interviene como materia prima en la fabricación de un producto, o que esté en contacto con éste,

principalmente los de tipo alimenticio, debido a que pueden sufrir descomposiciones de tipo biológico durante su elaboración, o bien ya terminado.

3.- El agua de enfriamiento debe ser clorada, debido a la acción incrustante y a veces corrosiva de las bacterias y microorganismos que pueda contener, y que normalmente ocurre en el lado --- frío de los equipos de transferencia de calor.

4.- En el tratamiento de agua de desecho la cloración juega un papel muy importante debido a que ayuda a la eliminación de agentes tóxicos en esta, y por otro lado a la reducción de la demanda biológica de oxígeno con lo cual contribuye al control de la -- contaminación ambiental.)

Por lo tanto, la cloración es una de las muchas contribuciones, a los beneficios de la humanidad del mundo actual en que vivimos y los fundamentos para su correcta aplicación es objeto del -- presente trabajo.

"GENERALIDADES SOBRE CLORACION".

1.- CLORO.- El cloro (del griego chloros, verde amarillento), es el más común de los halógenos, es un gas amarillo verdoso, lo obtuvo por primera vez Scheele C.W.⁽²⁾ en 1774, por la acción del dióxido de manganeso sobre el ácido clorhídrico. Ahora se fabrica en gran escala por electrólisis de una disolución concentrada de cloruro sódico. El cloro por su gran actividad química no se encuentra libre en la naturaleza, sino combinado con sodio, potasio, manganeso y otros metales.

A.- Propiedades físicas y químicas.

El cloro es un gas amarillo verdoso, de olor penetrante, desagradable e irritante; inflama las mucosas de la nariz y garganta y respirando en cantidad, congestiona los tejidos pulmonares pudiendo incluso causar la muerte.

El cloro gaseoso es 2.5 veces más pesado que el aire, por lo tanto las fugas de éste elemento se van a las partes bajas del local en que se encuentra.

El cloro es algo soluble en agua, a la presión de una atmósfera, 100 gramos de agua a 0°C disuelven 1.46 gramos de éste elemento, y la disolución se llama "agua de cloro". Enfriado a -34.6° y la presión de una atmósfera se convierte en un líquido amarillo -- que a 101.6°C y también a la presión de una atmósfera se congela en un sólido de color amarillo pálido.

El cloro líquido es irritante a la piel; su contacto prolonga

do produce quemaduras, causa serios daños en los ojos. Se evapora puesto a la presión y temperaturas normales.

El cloro es uno de los elementos denominados halógenos y pertenece al séptimo grupo de la tabla periódica.

Para dar una relación entre el cloro y los elementos del séptimo grupo, en la tabla No. 1 se muestran las propiedades físicas de los halógenos. (2,18).

Así también, las curvas de las figuras No. 1, 2, 3 y 4 indican las siguientes propiedades del cloro en unidades del sistema métrico decimal.

Temperatura - Presión de vapor del cloro líquido.

Temperatura - Densidad del cloro líquido.

Temperatura - Solubilidad de cloro en agua.

Temperatura - Porcentaje de volumen como líquido.

Tabla No. 1

Propiedades físicas de los halógenos (2,18)

PROPIEDAD FÍSICA.	FLUOR (F)	CLORO (Cl)	BROMO (Br)	YODO (I)
Número atómico.	9	17	35	53
Peso atómico.	19.00	35.46	79.92	126.9
Estado natural en condiciones normales.	gas	gas	líquido	sólido.
Color del vapor.	Amarillo pálido.	Amarillo verdoso.	Pardo rojizo.	Violeta
Punto de fusión (°C)	-223	-101.6	-7.3	113.5
Punto de ebullición (°C)	-187	-34.6	58.7	183
Densidad del líquido (g/ml)	1.108	1.557	3.19	4.93 (Sólido)
Calor de fusión (cal/mol)	---	1630	2590	2970
Calor específico (cal/g)	0.17	0.11	0.005	0.03
Radio iónico en Å ⁻¹	1.36	1.81	1.95	2.16
Radio iónico en Å ⁻⁷	0.07	0.26	0.39	0.5
Radio atómico en Å	0.72	0.99	1.14	1.33

Propiedades químicas.

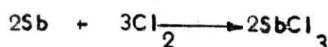
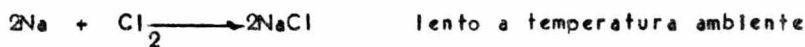
Como los compuestos iónicos que contienen iones de éstos elementos se denominan sales, los elementos mismos reciben el nombre

de halógenos, derivado de palabras griegas que significan "productores de sal", y sus compuestos se llaman "haluros".

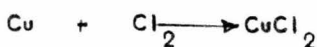
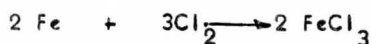
Los halógenos son los elementos más acentuadamente no metálicos denominados así por la tendencia de sus átomos a captar electrones y formar iones negativos.

La índole electronegativa (no metálica) de los halógenos se explica por el estudio de sus estructuras atómicas. La estructura del átomo del halógeno tiene en el nivel superior de energía un electrón menos que el gas noble que le sigue en la tabla periódica. En otras palabras, le falta un electrón para tener una configuración estable, y tiende por ello a captar precisamente un electrón para formar el ion haluro, de electrovalencia uno menos (-1), esto es F^{-1} , Cl^{-1} , Br^{-1} , y I^{-1} . Así también su radio atómico pequeño influye decisivamente en su carácter electronegativo como se indica en la tabla número 1.

Casi todos los metales se combinan con el cloro para formar cloruros.



El fierro y cobre en cloro húmedo reaccionan dando los cloruros correspondientes.



En cambio el cloro perfectamente seco ya no actúa sobre éstos últimos elementos, por lo cual puede almacenarse y transportarse en cilindros y tubos de fierro y cobre.

Reacciona con casi todos los elementos no metálicos por ejem-

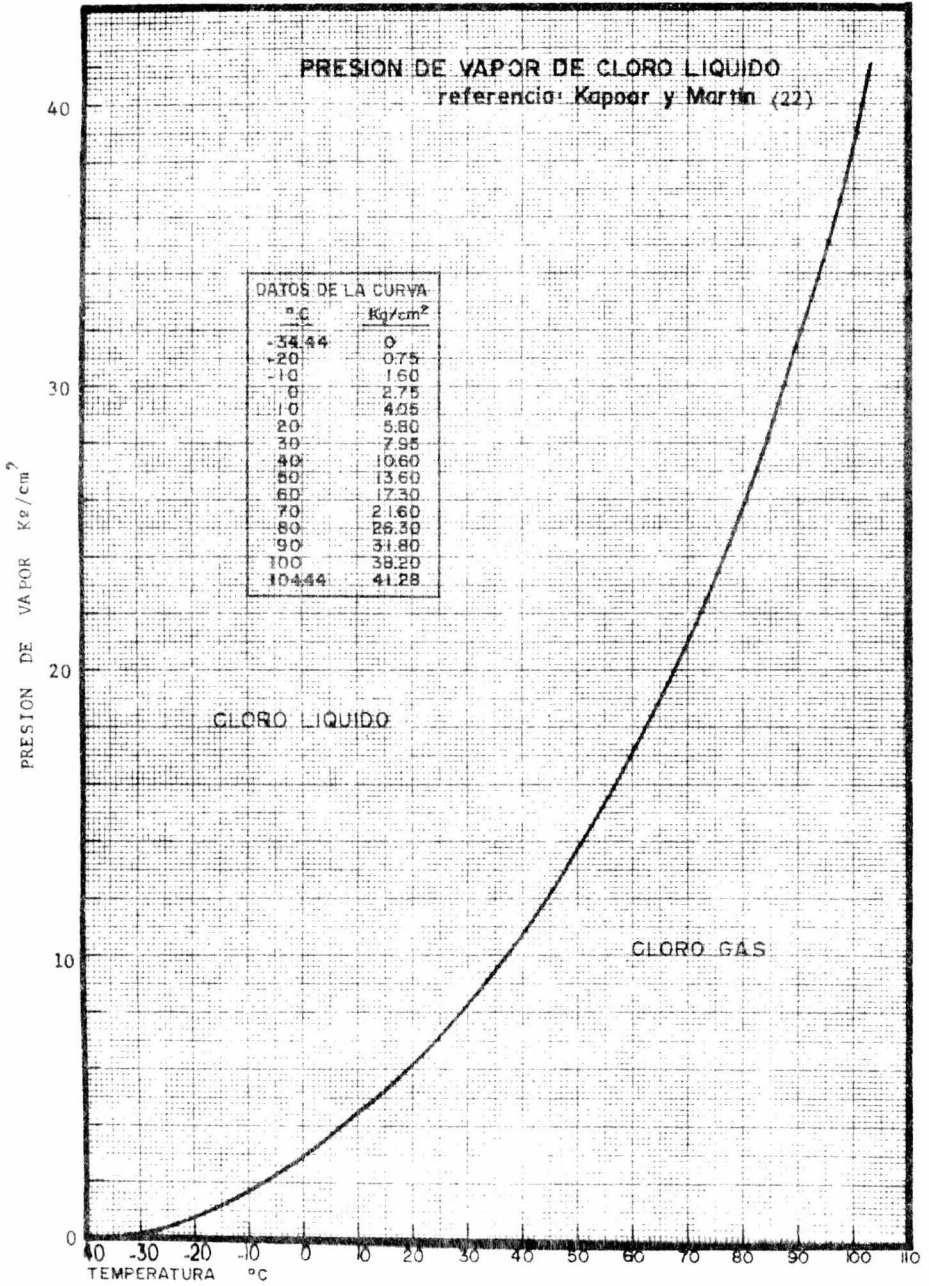


Figura No. 1

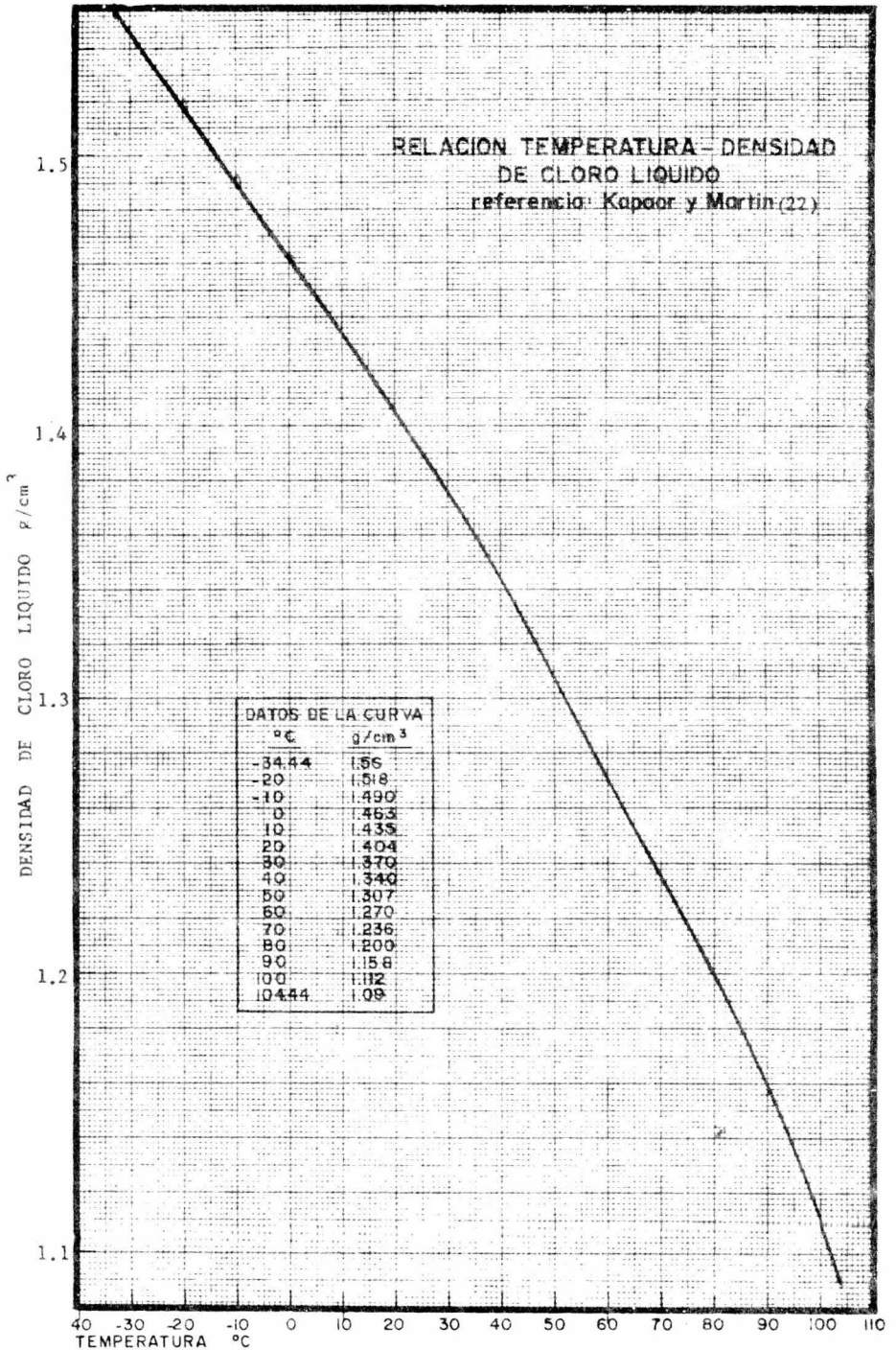


Figura No. 2

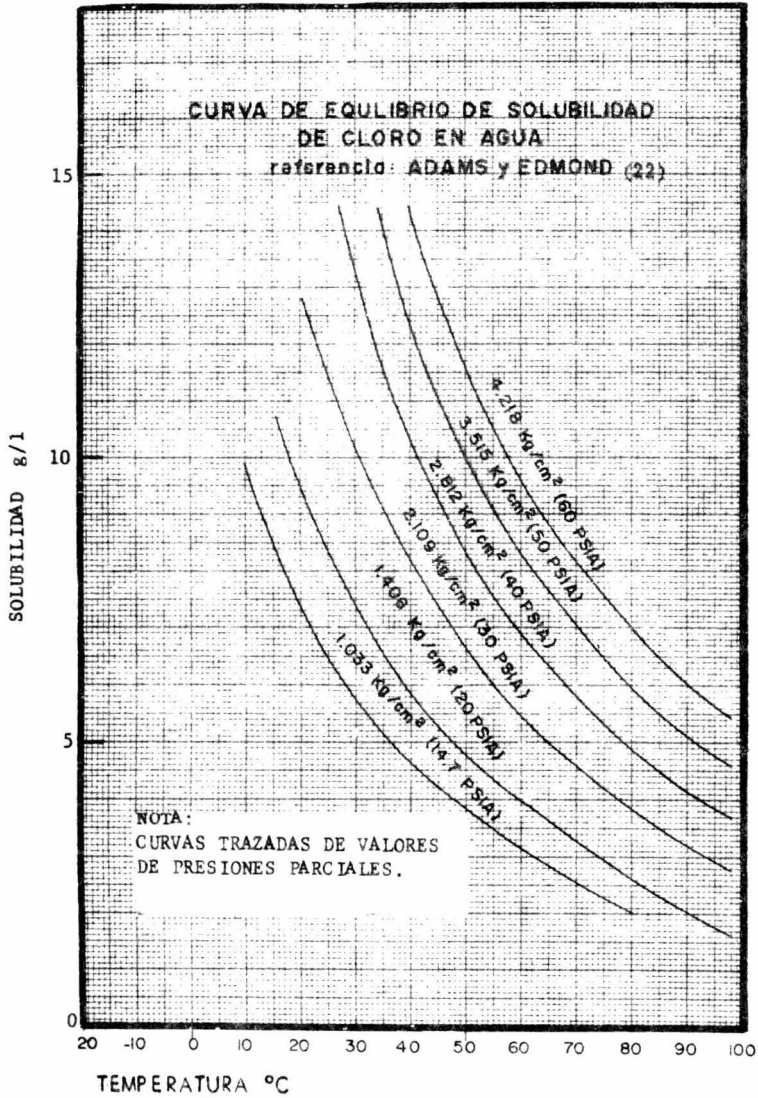


Figura No. 3

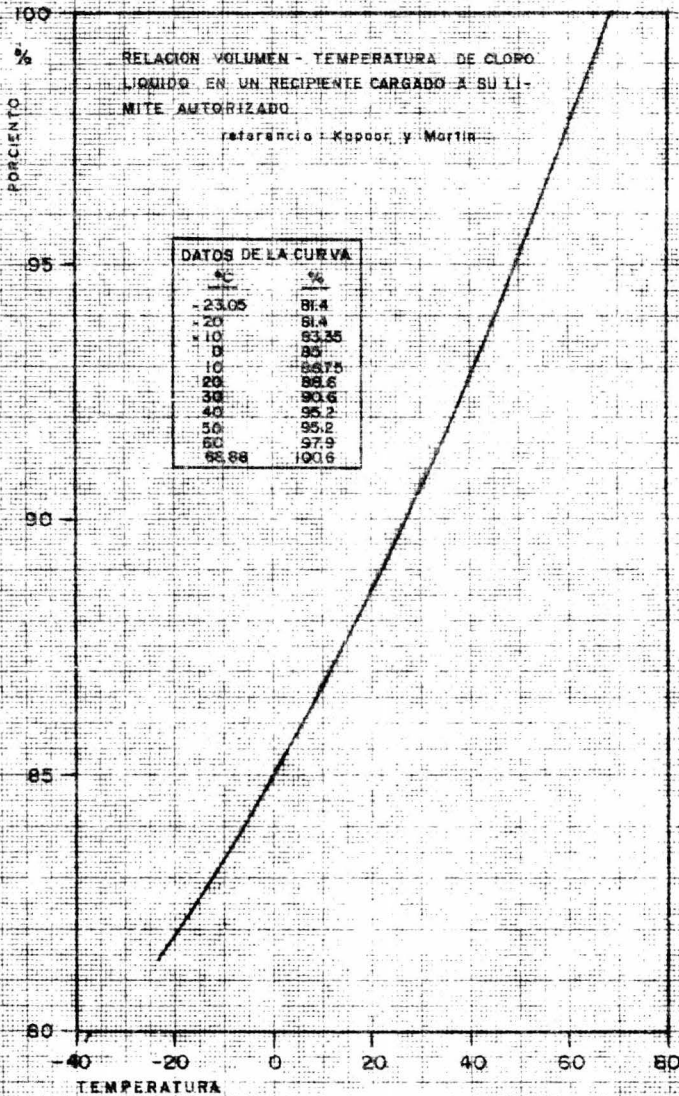
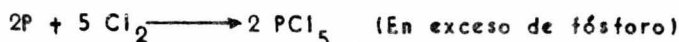
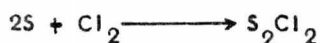


FIGURA N° 4

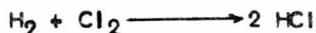
plos:



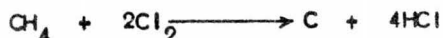
El cloro se combina con el azufre fundido.



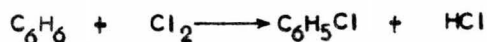
Con el hidrógeno a temperatura ambiente se forma muy lentamente (casi imperceptible) cloruro de hidrógeno, a la luz difusa reacciona lentamente, pero a la luz solar directa ó a la de magnesio - la reacción se verifica con violencia explosiva.



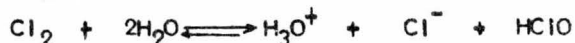
Metano ardiendo en una atmósfera de cloro se forma carbón y - cloruro de hidrógeno.



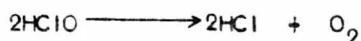
Regulando bien las condiciones de la reacción entre el cloro- y un hidrocarburo, puede resultar una sustitución del hidrógeno -- por el cloro.

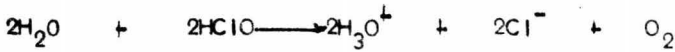


Cuando el cloro reacciona con el agua formando una disolución, la cual contiene los ácidos clorhídricos e hipocloroso hay un equi- librio con el cloro disuelto y el agua.



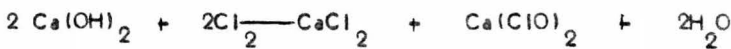
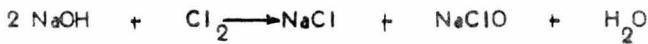
El equilibrio se alcanza cuando ha reaccionado una tercera -- parte aproximadamente del cloro. El ácido hipocloroso HClO es in- estable y se descompone en HCl y O; éste último se desprende de - la disolución en forma molecular.



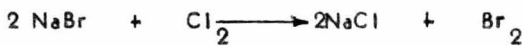


A medida que avanza esta reacción el equilibrio se desplaza a la derecha, y finalmente la disolución contiene solo ácido clorhídrico y un poco de oxígeno disuelto. Si se usa agua de cloro en una reacción en la que se consume cloro, el equilibrio se desplaza totalmente hacia la izquierda; el ácido clorhídrico y ácido hipocloroso reaccionan produciendo agua y cloro.

Con los hidróxidos alcalinos forma los cloruros e hipocloritos correspondientes.



El cloro desplaza a los elementos de su mismo grupo de la tabla periódica excepto el flúor de sus respectivas sales.



Esta tendencia a ganar un electrón disminuye a medida que aumenta el número atómico respectivo, o sea, que la tendencia a formar en ion haluro (la electronegatividad), es máxima en el flúor y mínima en el yodo. Así también conforme aumenta el radio atómico disminuye su electronegatividad.

El relativo poder desinfectante del cloro, sus diversos compuestos así como los otros halógenos y ozono se debe a su potencial de oxidorreducción; claro está que hay otros factores que determinan este poder; tal como tipo de organismos, concentración, tiempo de contacto, etc.

Se presenta a continuación la tabla No. 2, ⁽³⁰⁾ que indica los po-

tenciales en volts de los diferentes compuestos de halógenos y ozono.

Tabla No. 2 (30)

Potenciales de oxidorreducción (Eo) a 25°C de los diferentes compuestos de halógenos y ozono.

Reacción	Potencial en volts (Eo)
$O_3 + 2H^+ + 2e = O_2 + H_2O$	2.07
$HOCI + H^+ + 2e = Cl^- + H_2O$	1.49
$Cl_2 + 2e = 2 Cl^-$	1.36
$HDBr + H^+ + 2e = Br^- + H_2O$	1.33
$O_3 + H_2O + 2e = O_2 + 2 OH^-$	1.24
$ClO_2 + e = ClO_2^-$	1.15
$Br_2 + 2e = 2 Br^-$	1.07
$HOI + H^+ + 2e = I^- + H_2O$	0.99
$ClO_2(aq) + 2e = ClO_2^-$	0.95
$OCl^- + H_2O + 2e = Cl^- + 2 OH^-$	0.90
$OBr^- + H_2O + 2e = Br^- + OH^-$	0.70
$I_2 + 2e = 2I^-$	0.54
$I_3 + 2e = 3I^-$	0.53
$OI^- + H_2O + 2e = I^- + 2OH^-$	0.49

Usos generales del cloro.- Grandes cantidades de cloro se emplean en agentes blanqueadores, el efecto decolorante del cloro -- proviene de la acción del ácido hipocloroso, HClO₂, oxidante muy activo. Sometido a la acción del cloro húmedo unas tiras de tela em papada, el material colorante se destruye, lo que no sucede así si el cloro está seco.

No debe usarse sobre fibras de origen animal (lana, plumas, - seda), pues es demasiado enérgico y las destruye; incluso debilita las de origen vegetal (algodón, etc); por lo que durante el blan- queo debe evitarse que siga actuando sobre ellas una vez decolora-

das, lavándolas bien para eliminar el exceso de cloro. Alrededor del 65% de la producción total de cloro se destina al blanqueo de pastas de papel, y un 20% a la industria textil.

El cloro se usa muchísimo para esterilizar el agua no potable y albercas, todos los microorganismos patógenos sucumben al cloro en concentraciones no mayores de 0.3 a 2 partes de cloro en un millón de partes de agua. En forma de hipoclorito de sodio o calcio se emplea para preparar disoluciones germicidas.

Entre los diversos usos del cloro se cuentan la fabricación de colorantes, drogas, desinfectantes y cloruros muy importantes como los de azufre, carbono, silicio, fósforo, arsénico, aluminio, estaño y antimonio. También se emplea para extraer ó recuperar metales, como el oro y el estaño, de los minerales auríferos y de los recortes de hojalata, respectivamente. Un compuesto de carbono, cloro, flúor, CCl_2F_2 (P.E.B. 29.8°C), creado hace poco con el nombre de freon-12, se utiliza como refrigerante.

Otros usos.- Casi todos los gases tóxicos usados durante la primera guerra mundial, (1914-1918) consistían en cloro libre ó compuestos de cloro. El primer ataque con gases lo lanzaron los alemanes en el sector de Ipres el 22 de Abril de 1915, dejando escapar gran cantidad de cloro con viento favorable, que lo arrastró como una niebla densa adherida al terreno hasta las trincheras inglesas.

Más tarde, el cloro cedió paso a algunos de sus compuestos, aún más tóxicos.

B₀ = Formas usuales en el comercio.

En el comercio, el cloro está clasificado como un gas comprimido no inflamable. El cloro en recipientes, tiene tanto una fase

gaseosa como una fase líquida.

Todos los recipientes y medios de transporte de cloro están controlados por reglamentos gubernamentales. Es responsabilidad de todas las personas que usen o transporten cloro, conocer y cumplir los reglamentos estatales y locales. Además antes de iniciar cualquier operación con cloro, deberán consultar a una compañía aseguradora.

Las formas más usuales de cloro en el comercio son las siguientes:

- 1.- Cloro
- 2.- Solución de hipoclorito de sodio.
- 3.- Hipoclorito de calcio sólido.
- 4.- Dióxido de cloro.

1.- Cloro.

Es un elemento químico, en cualquier estado ó condición que exista.

Terminología.

a.- Cloro líquido, es un gas licuado a presión tal y como es embarcado en el comercio.

El termino "cloro líquido", se emplea a veces para describir a una solución hipoclorito, el uso de éste termino es incorrecto.

b.- Cloro gas.- Cloro seco en estado gaseoso.

c.- Cloro seco.- El cloro, en fase líquida o gaseosa, que no contenga más de 150 ppm de agua.

"Cloro seco", es a veces empleado para describir un compuesto en polvo (generalmente hipoclorito de calcio), o los clorocianuratos; el uso de éste termino es incorrecto.

Tipo de envase

Los tipos de envase de cloro en el comercio son principalmente los siguientes:

a.- Carros tanque de 27 y 50 toneladas métricas y camiones -- tanque de 10 a 14 toneladas.

b.- Cilindros grandes de 0.908 toneladas (908 Kg.)

c.- Cilindros chicos de 45, 68 y 90 Kg.

Especificaciones del cloro.

Las especificaciones en el comercio del cloro son las siguientes:

Cloro	99.5% máximo.
Anhidrido carbónico.	0.2% máximo.
Otros gases no condensables.	0.291% máximo.
Humedad.	0.005% máximo.
Residuo.	0.004% máximo.

2.- Hipoclorito de sodio.

La estabilidad de las soluciones de hipoclorito de sodio, dependen en general de los siguientes factores:

- 1.- Concentración de la solución.
- 2.- Temperatura.
- 3.- Efectos de la alcalinidad y pH
- 4.- Efecto de ciertos catalizadores.
- 5.- Efectos de la luz.

Efecto de la concentración y temperatura.

La estabilidad de las soluciones de hipoclorito de sodio, se-

expresa en terminos de "vida media", ésto quiere decir, el número de días requeridos para reducir a la mitad de su valor inicial el contenido de cloro en la solución.

En la siguiente tabla se muestra la influencia de la concentración y de la temperatura en la estabilidad de las soluciones de hipoclorito de sodio en terminos de "vida media" y almacenadas en la obscuridad.

Tabla No. 3⁽²⁰⁾
Efecto de la concentración y temperatura en las soluciones de hipoclorito de sodio.

Concentración de cloro g/l	Vida media en días según la temperatura			
	100°C	60°C	25°C	15°C
200	0.015	0.6	44	175
100	0.079	3.5	220	800
50	0.25	13.0	790	5000
25	0.63	28.0	1800	—
5	2.5	100	6000	—

Efectos de la alcalinidad y pH

La estabilidad comparativa de las soluciones de hipoclorito de sodio con el cambio de alcalinidad por exceso de hidróxido de sodio (Na OH) ó exceso de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) ó exceso de carbonato de sodio (Na₂CO₃), se indica en la siguiente tabla, - la cual muestra el efecto sobre la vida media al agregar solución de bicarbonato de sodio a cinco diferentes concentraciones de cloro disponible en soluciones de hipoclorito de sodio.

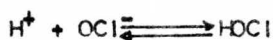
En esta prueba, la solución original se dividió en tres porciones; una porción fué usada como se preparó. La segunda porción se trató con bicarbonato de sodio necesario para convertir todo el exceso de Na₂OH en Na₂CO₃. La tercera porción fué convertir la sosa en Na₂CO₃, pero con exceso de bicarbonato de sodio.

Tabla No. 4 ⁽²⁰⁾

Efecto del exceso de alcalinidad.

Cloro aprovechable g/l	Na OH g/l	Na ₂ CO ₃ g/l	Na HCO ₃ g/l	Vida Media Días.
212	14.6	6.6	0	44
212	0	45.3	0	19
212	0	45.3	Exceso	0.3
113	7.5	3.4	0	200
113	0	23.2	0	20
113	0	23.2	Exceso	0.5
57	3.7	1.7	0	800
57	0	11.5	0.59	200
57	0	11.5	57.7	0.6
29	1.9	0.84	0	2000
29	0	5.8	0.25	600
29	0	5.8	28.8	3.2
5	0.17	0.16	0	8500
5	0	0.6	0.01	800
5	0	0.6	5.9	200

Las soluciones de hipoclorito de sodio, toman un ion hidrógeno del agua dando la siguiente ecuación de equilibrio.



Este equilibrio es reversible y afectado por el pH, habiendo mayor porcentaje de ácido hipocloroso conforme disminuye éste, y hay mayor contenido de ion hipocloroso conforme aumenta. La siguiente tabla muestra los porcentajes de ácido hipocloroso e ion hipocloroso a diferentes valores de pH.

Tabla No. 5

Porcentajes de cloro como HOCl y OCl⁻
a diferentes valores de pH

pH	% de HOCl		% de OCl ⁻	
	0°C	20°C	0°C	20°C
4.0	100.0	100.0	0.00	0.00
5.0	100.0	99.7	0.00	0.3
6.0	98.2	96.8	0.8	3.2
7.0	83.3	75.2	16.7	24.8
8.0	32.2	23.2	67.8	76.8
9.0	4.5	2.9	95.5	97.1
10	0.5	0.3	99.5	99.7
11	0.05	0.03	99.95	99.97

Como se observa en la tabla anterior, a valores de pH mayores de 9 existe un gran porcentaje de ion hipocloroso, y por lo tanto las soluciones de hipoclorito de sodio son bastante estables. La figura No. 5 indica en forma gráfica la tabla No. 5.

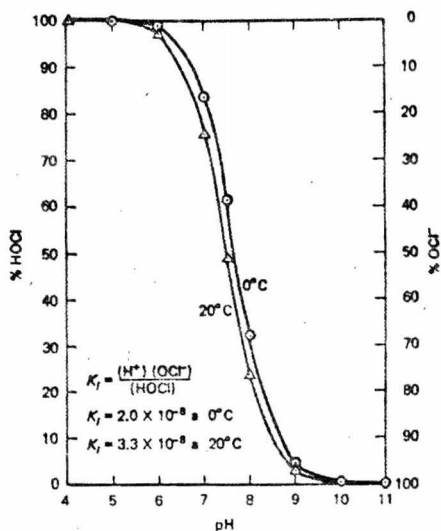


Figura No. 5.- Disociación del ácido hipocloroso a diversos valores de pH.

Efecto de la concentración de ciertos catalizadores.

El resultado de estudios de los efectos y variaciones en la concentración de cobre y níquel sobre una solución de 200 g/l expresada en términos de vida media, se dan en la tabla No. 6⁽²⁰⁾

Tabla No. 6⁽²⁰⁾
Efectos catalíticos del cobre y níquel sobre soluciones concentradas de hipoclorito.

<u>Vida media</u> <u>Días.</u>	<u>ppm</u> <u>Cobre</u>	<u>ppm</u> <u>Níquel</u>
53.5	0.12	0.11
50.0	0.22	0.15
45.0	0.39	0.20
40.0	0.60	0.28
35.0	0.85	0.35
30.0	1.14	0.53
20.0	2.15	1.07
10.7	---	1.80
7.0	---	---

El cobre y níquel, son poderosos catalizadores de descomposición.

El cobre es el que presenta mayor actividad, ya que es posible que con cantidades no mayores de 0.0001% (una parte por millón) descomponga una solución de blanqueo. Con relación a lo anterior, es importante observar toda precaución para evitar la contaminación del hipoclorito por cobre en las tuberías y válvulas que se usan.

Efectos de la luz.

La influencia de la luz en la estabilidad, puede fácilmente demostrarse dividiendo una muestra de solución de blanqueo, poniendo una porción en un frasco de vidrio color ámbar, y la otra en un frasco de vidrio incoloro y exponiéndolos a la luz solar. En una prueba realizada en un frasco incoloro, la vida media de una solución de 200 g/l, se redujo en siete días, a 100 g/l. En cambio la porción colocada en frasco ámbar, en 44 días se redujo de 200 g/l a 100 g/l.

Forma comercial de hipoclorito de sodio.

La forma comercial es una solución al 13% en peso de cloro -- disponible, dicha solución tiene las siguientes especificaciones: (20).

Cloro disponible.	130 g/l mínimo.
Hidróxido de sodio como NaOH	20 g/l mínimo.
Carbonato de sodio como N_2CO_3	20 g/l máximo.
Hierro como Fe^{-3}	7 ppm. máximo.

Se maneja comercialmente en pipas de 5000 ó de 8000 litros -- (6000 ó 9600 Kg.) de capacidad.

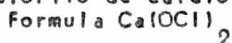
Características físicas.- Las características físicas son las siguientes:

Apariencia.	Transparente ó ligeramente turbio.
Color	Amarillo ámbar.
Peso específico.	1.2 Kg/l.

La razón por la cual, la forma usual en el comercio del hipoclorito de sodio es una solución con una concentración al 13% en peso de cloro disponible, es que a dicha concentración o valores cercanos a ésta 11% ó bien 15%; la solución presenta la mayor estabilidad, tal y como puede apreciarse en la tabla No. 3 que se indicó anteriormente y que muestra los efectos de la concentración y la temperatura en la estabilidad de las soluciones de hipoclorito de sodio. En dicha tabla se indica que para una concentración del 20% en peso de cloro (g/l) y una temperatura de 25°C la vida media en días es de 44, y para concentraciones más bajas a la misma tem-

peratura aumenta la vida media en días, pero tampoco conviene una concentración tan baja como el 0.5% debido a que se tendría menor cantidad de cloro disponible aunque se tengan 6000 días de vida media como muestra la tabla para el 0.5% de concentración, ya que 44 días es un tiempo bastante aceptable además mientras más baja sea la concentración se tendrían que almacenar grandes volúmenes de solución.

3.- Hipoclorito de calcio sólido. (20)



El hipoclorito de calcio es la forma más estable de transportar cloro.

Datos físicos.- Se encuentra en el comercio como polvo ó granulos, con una densidad de 0.803-0.881 g/cm, la forma comercial -- contiene cerca del 70% de cloro disponible. La máxima solubilidad práctica es cerca del 3%, la solución deberá ser decantada para separar los insolubles después de su preparación y para su dosificación.

Forma de embarque.- Recipientes ó latas de 45 Kg.

Materiales para su manejo.- Vidrio, plástico y hule.

Almacenaje.- Debe almacenarse en áreas secas y frías, el hipoclorito de calcio sólido es irritante a los ojos, piel y membranas mucosas, su contacto con compuestos orgánicos debe evitarse, la mezcla podría ser explosiva.

Las soluciones son alcalinas, la alcalinidad debe neutralizarse cuando la solución contenga 0.2% ó más de alcalinidad, ya que -- si contiene más del 0.2% afecta la estabilidad de la solución.

4.- Dióxido de cloro.

Propiedades.- El dióxido de cloro (ClO₂) es un gas amarillo--

rojizo formado por la reacción de solución de cloro con una solución de clorito de sodio a un pH de 4.0 ó menor.



El potencial oxidorreducción del dióxido de cloro es ligeramente menor que el del cloro, el dióxido de cloro es un agente --- fuertemente oxidante que reacciona con diversas sustancias más rápidamente que el cloro, no reacciona con algunas sustancias con --- las cuales reacciona el cloro, y el hecho más importante es que no reacciona con el amoníaco y por lo cual su poder oxidante y bactericida no disminuye por la presencia de amoníaco ó compuestos nitrogenados en el agua a tratar, como sucede con el cloro. Las propiedades bactericidas del dióxido de cloro son similares a las del cloro residual libre.

Forma usual en el comercio.- No existe forma usual en el comercio, ya que es una gas inestable, lo más práctico es generar al dióxido de cloro (ClO_2) en el lugar del punto de aplicación.

Ventajas.- La principal ventaja del dióxido de cloro es que no reacciona con el amoníaco, lo cual le dá una superioridad sobre el cloro en el tratamiento de aguas de desecho con alto contenido de amoníaco.

El dióxido de cloro se emplea satisfactoriamente para el control del color, reacciona con compuestos que contienen fierro y --- manganeso y también con compuestos fenólicos más rápidamente que --- el cloro; así mismo oxida ciertos compuestos que el cloro no oxida, tales como los clorofenoles y otros compuestos responsables de los malos olores. Su principal desventaja es que resulta demasiado ca

ro en comparación al cloro porque tiene que producirse en el punto de aplicación, la inversión en el equipo para producirlo y al costo del clorito de sodio.

Uso.- El dióxido de cloro (ClO_2) se emplea para la desinfección de agua y agua de desecho generándolo y midiéndolo en el mismo punto de aplicación como solución. Pero normalmente, en vez de dióxido de cloro (ClO_2), se emplea el cloro por razones económicas.

C.- Manejo y seguridad del cloro.

a.- Descripción de recipientes de cloro.

Cilindros de 68 Kg.- Los cilindros de cloro de 68 Kg., son de acero al carbón sin costura y pueden ser, ya sea del tipo aro inferior o del tipo de fondo hundido. La única abertura del cilindro que permiten los reglamentos es la válvula de conexión en la parte superior y están provistos de un capuchón de acero para protegerla.

Esta válvula tiene conexiones roscadas rectas y están equipadas con un fusible de metal. La mayoría tienen un tapón roscado que contiene el metal fusible, atornillado a una perforación en el cuerpo de la válvula ó bien, tienen el metal fusible vaciado directamente dentro de una perforación roscada en el cuerpo de la válvula. Este fusible está hecho para fundirse entre 70 y 74°C, aliviando así la presión y evitando la ruptura del recipiente en caso de fuego, o cualquier otra exposición a altas temperaturas. La abertura del tapón fusible se encuentra debajo del asiento de la válvula. Ver figuras Nos. 7 y 8. (22).

Los cilindros pueden embarcarse por ferrocarril, camión o transporte marítimo. Los embarques en camión pueden ser por carga completa o menores. Los embarques por ferrocarril podrán ser por -

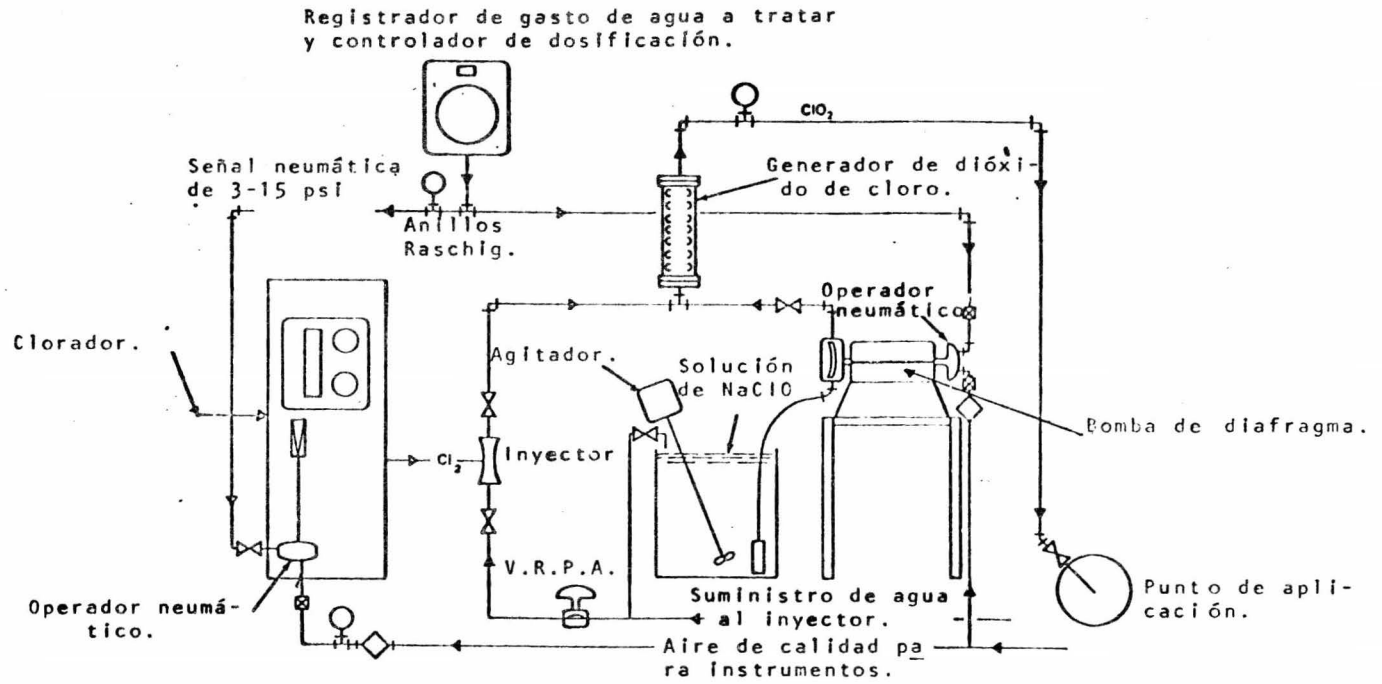


Figura No. 6.⁽³⁰⁾ Diagrama de sistema automático proporcional para generar dióxido de cloro.

furgones o menores. La máxima descarga de cloro gas a una temperatura ambiente de 21.0°C , y contra una presión de 2.5 Kg/cm^2 es de 0.800 Kg/hrs . En forma líquida se puede extraer bajo las condiciones anteriores, pero el cilindro invertido 60° con respecto a la horizontal, hasta 60 Kg/hr .

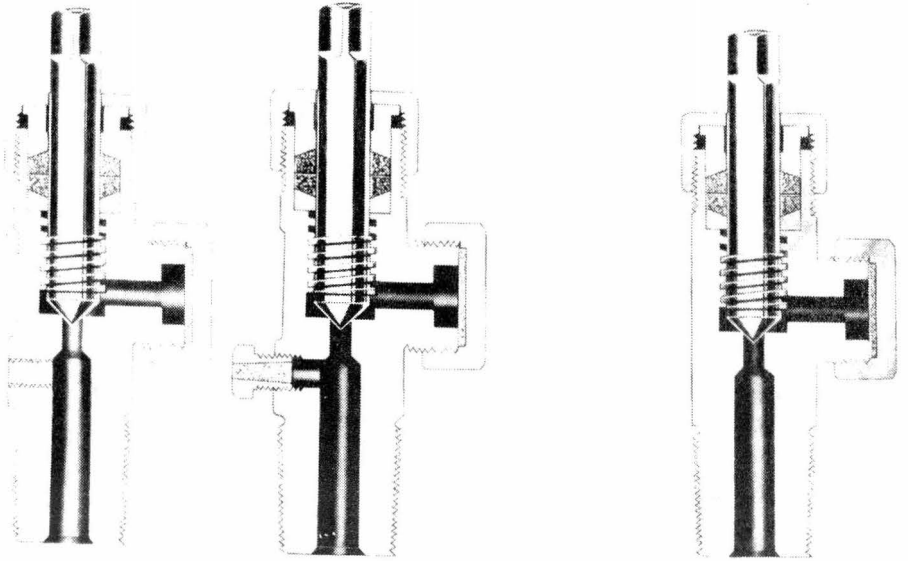
Tanques de 908 Kg.- Este recipiente es un tanque cilíndrico soldado, cuyos cabezales son convexos hacia adentro y los lados son encorvados también hacia adentro, lo cual proporciona dos pestañas para fijar los ganchos de elevación. El recipiente está equipado con dos válvulas idénticas cerca del centro en uno de los extremos.

El Instituto de Cloro (The Chlorine Institute Inc). de los Estados Unidos ha diseñado una válvula para los recipientes de una tonelada, ver figura No. 9, ⁽²²⁾ la cual difiere de la válvula de cilindro de 68 Kg , solamente en que no tiene tapón fusible, teniendo un pasaje interno más largo. Cada válvula conecta con un tubo interno ⁽²²⁾ figura No. 10. Estas válvulas están protegidas por un capuchón de acero removible.

Todos estos recipientes están equipados con fusibles metálicos de seguridad, la mayoría tienen 6 tapones, tres en cada extremo formando un triángulo equilátero entre los tres. El metal fusible está diseñado para fundirse entre 70 y 74°C , que alivian la presión y evita la ruptura del recipiente en caso de fuego, o cualquier otra exposición a altas temperaturas.

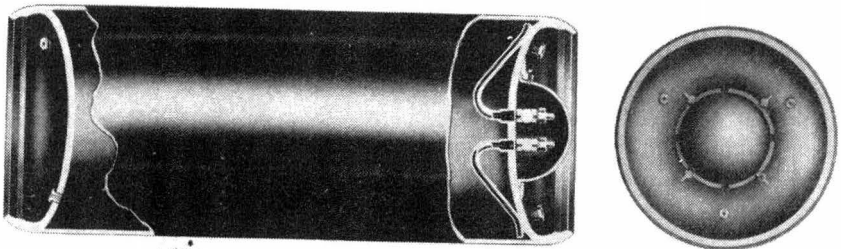
Los recipientes de 908 Kg . se pueden embarcar en lotes de trece ó quince en plataformas de ferrocarril.

La máxima descarga de cloro gas a una temperatura ambiente de 21°C y contra una presión de 2.5 Kg/cm^2 es alrededor de 6.8 Kg/hr .



(22)
Figuras Nos. 7 y 8.- Válvulas para cilindros de 68 Kg.

(22)
Figura No. 9.- Válvula para tanque de tonelada.



(22)
Figura No. 10.- Diagrama de un tanque de tonelada para cloro.

Para cortos períodos estas velocidades de extracción pueden ser muy excedidas. En forma líquida se puede extraer bajo las mismas condiciones anteriores, pero de la válvula que conecta con el tubo de cloro líquido hasta 180 Kg/hr.

Carro tanque.- Los carros tanque de cloro están provistos yasea de un aislamiento de corcho ó de espuma de poliuretano de 10cm de espesor, protegido por una chaqueta de acero. La única abertura permitida en el tanque es la que puede dar cabida la entrada de un hombre, y está localizada en la parte superior al centro.

Hay cinco válvulas montadas sobre la cubierta de la entrada, según se muestra en la figura No. 11, ⁽²²⁾ cuatro de ellas son válvulas de ángulo; la quinta, montada en el centro es una válvula de seguridad de alivio. Enfrente de cada válvula de ángulo, hay una abertura en el domo protegida por una pequeña tapa a través de las cuales se conectan las líneas de descarga. Estas válvulas están construidas de acero forjado y vástago de monel, la salida es hembra con rosca para tubo estandard de 1" y protegida con tapones macho.

Las dos válvulas de ángulo en la línea central longitudinal del carro, son para la descarga de cloro líquido y las otras dos válvulas de ángulo situadas en la línea central transversal del carro, son para el espacio de vapor de cloro.

Válvulas de exceso de gasto.- Debajo de cada válvula para líquido hay un tubo de educación fijado a la cubierta de la entrada que llega hasta el fondo del tanque, inmediatamente debajo de la cubierta de la entrada, hay una válvula de bola para el exceso de gasto, figura No. 12 ⁽²²⁾ diseñada para cerrar cuando el gasto de cloro líquido excede de 3,200 Kg/hr. Esta válvula es un dispositivo de protección diseñada para cerrar automáticamente contra un excesivo

gasto de cloro líquido debido a que por accidente la válvula de --
 ángulo se rompa o la línea de descarga se dañe. La válvula de ali-
 vio de seguridad es del tipo de resorte, generalmente combinada --
 con un perno de ruptura figura No. 13, diseñada para aliviar entre
 16 y 26 Kg/cm², dependiendo de los códigos a que hayan sido diseña-
 dos estos tanques.

Descarga.- A diferencia de los cilindros de 68 Kg, y los tan-
 ques de 908 Kg, los carros-tanque, no están diseñados para descar-
 gar cloro gas. El aislamiento restringe la transmisión de calor -
 dentro del carro, limitando así la extracción de evaporación del -
 líquido. Cuando se requiera cloro gas, el cloro deberá sacarse --
 del carro en estado líquido y de ahí alimentarse a un evaporador -
 de cloro.

El cloro líquido deberá descargarse por su propia presión de
 vapor, como la presión de vapor es una función de la temperatura,-
 en época de frío generalmente baja la extracción. Nunca se apli-
 que calor a un carro tanque. La presión del carro se puede aumen-
 tar por presión de aire.

(22)

Tabla No. 7

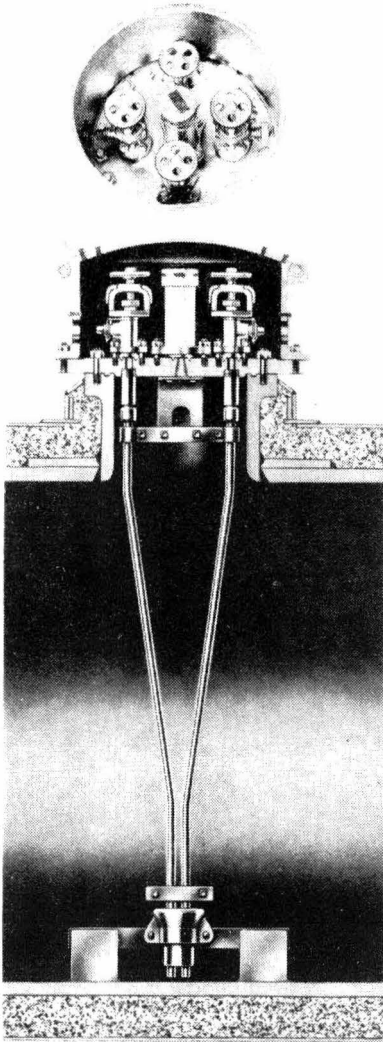
Dimensiones y pesos de recipientes de cloro.

CAPACIDAD	DIAMETRO EXTERNO		LONGITUD TOTAL.	PESO VACIO	PESO LLENO
Cilindro de 68 Kg.	26.7	27.3 cm.	142 cm.	64 Kg.	132 Kg.
Tanque de 908 Kg.		76.2 cm.	210 cm.	750 Kg.	1,650Kg.
CAPACIDAD	LARGO SOBRE PLATAFORMA.	ALTURA TOTAL.	PESO VACIO.	PESO CARGADO.	
Carro Tanque de 55 Ton.	12.5 m.	4.45 m.	43,950 Kg.	93,950 Kg.	

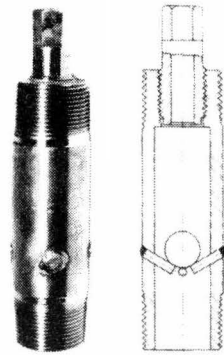
b.) Medidas de seguridad.

Manejo de cloro.- El manejo del cloro no es un riesgo grave -
 si el personal que lo maneja está debidamente entrenado.

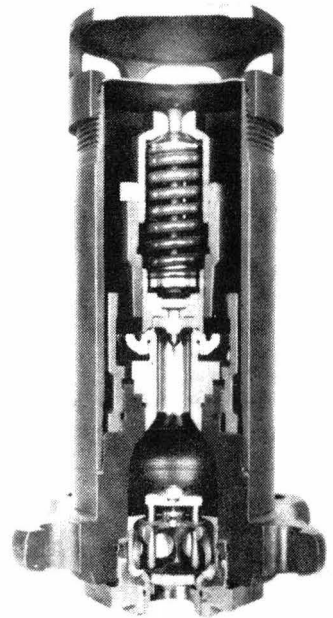
Los cilindros deben transportarse adecuadamente balanceados -



(22)
Figura No. 11.- Diagrama de carro-
tanque para cloro.



(22)
Figura No. 12.- Válvula -
de exceso de gasto de clo
ro en carro-tanque.



(22)
Figura No. 13.- Válvula de
alivio de seguridad tipo de
resorte para carro tanque.

en diablos con abrazaderas; cuando es necesario levantar un cilindro debe usarse grúa ó montacarga con canastillas; nunca use cadena o equipo magnético y tampoco nunca se levante un cilindro de la válvula de protección.

Los tanques de tonelada deben de manejarse con abrazaderas -- por medio de grúa ó montacarga de dos toneladas de capacidad cuando menos, se puede usar una plataforma de rodillos para mover el -- recipiente horizontalmente. Los tanques de tonelada para descar-- garse deben estar en posición horizontal con las dos válvulas en -- línea vertical.

Los carros tanque que se están vaciando deben tener calzas en las ruedas y con el freno puesto; se deben colocar señales de ad-- vertencia. Para conectar el carro tanque se utiliza una manguera flexible ó tubo de cobre anillado; los cuales permiten flexibili-- dad al movimiento de elevación del carro tanque al irse vaciando.-- El tubo debe probarse a 21 Kg/cm^2 cada seis meses.

Tubería.- Debe usarse material extraduro sin costura conectan-- do con piezas de acero forjado; debe diseñarse un sistema que no -- permita que el cloro líquido quede atrapado entre las válvulas. -- Las tuberías para cloro líquido deben tener cámaras de expansión -- capaces de soportar 20% del volúmen de la línea entre válvulas.

Almacenaje.- El almacenaje de cloro debe efectuarse en loca-- les separados, bien ventilados secos y frios. Se recomienda pre-- veer una buena ventilación que pueda entrar en servicio rápidamen-- te en caso de fugas de cloro; la ventilación podrá estar acompaña-- da de un dispositivo de absorción. Se deben alejar los productos-- químicos y los materiales combustibles del área de almacenaje.

Los recipientes serán cuidadosamente cerrados y alejados de -- toda fuente de ignición y de calor.

Riesgos personales.- Los vapores de cloro irritan las membranas mucosas y el aparato respiratorio, reacciona con la humedad del cuerpo y forma acidos irritantes, los vapores de cloro tienen un olor tan intenso que fácilmente se perciben a concentraciones mayores de 3,5 ppm. Las grandes concentraciones son tan irritantes que nadie permanecería en un área contaminada a menos que esté inconsciente ó atrapado. Los síntomas a la exposición intensa son náuseas y vómitos seguidos por dificultades respiratorias; las concentraciones de cloro gas que producen tales efectos fisiológicos se muestran en la tabla No. 8.⁽²⁰⁾

Tabla No. 8⁽²⁰⁾

Efectos fisiológicos a diversas concentraciones.	ppm de cloro en aire.
Cantidad mínima requerida para producir síntomas ligeros después de varias horas.	1.0
Olor detectable.	3.5
Cantidad máxima que se puede inhalar por una hora sin trastornos serios.	4.0
Concentración nociva imposible de respirar por muchos minutos.	5.0
Cantidad mínima requerida para causar irritación de garganta.	15.1
Cantidad mínima requerida para causar tos.	30.2
Concentración peligrosa de 30 minutos a una hora.	40-60
Causa la muerte en muy poco tiempo.	1000

Primeros auxilios.- Retirar a la víctima del área contaminada inmediatamente, evitándole todo esfuerzo muscular y quitándole la ropa ajustada al cuello para facilitar la respiración. Si se ha detenido la respiración ó es difícil, iniciar de inmediato la respiración artificial y llamar al médico inmediatamente.

Si se dispone de aparato para inhalación de oxígeno, debe ser utilizado por personal autorizado para tales labores.

Toda persona afectada por el cloro debe mantenerse en reposo-

y protegida del frío; cubriéndose con una frazada, aplicando bolsas de agua caliente, si es necesario, no se le permita ningún movimiento.

Si el cloro líquido penetra en los ojos aunque sean en pequeñas cantidades ó si los ojos se han expuesto a concentraciones -- fuertes del gas, deben de lavarse inmediatamente con grandes cantidades de agua corriente por un mínimo de 15 minutos.

Equipo de protección personal.- En donde no es posible tener un ambiente seguro, se hace necesario proteger al trabajador. Si un obrero ha de penetrar a una área fuertemente contaminada debe de colocarse el equipo de protección apropiado y aprobado para servicio contra cloro. Se proporciona adecuada protección respiratoria, con una mascarilla que se adapta a toda la cara y con manguera mediante la cual se suministra aire a presión positiva, ó bien con el aparato respirador de aire comprimido.

Para penetrar a los tanques, el trabajador debe estar equipado con arnés de rescate y cuerda de seguridad, sostenida por otra persona igualmente equipada y colocada fuera del tanque.

Puede usarse la mascarilla para gas de tipo cartucho para atmósfera contaminada de cloro, cuando la concentración del gas es menor del 10% y el contenido de oxígeno mayor del 16%.

Debe enseñarse a los obreros cuando y como usar el equipo de protección y como reconocer los defectos de éstos; deben hacerse prácticas periódicas para no perder el tiempo en una emergencia.

Las áreas que pueden estar contaminadas deben equiparse con mascarillas extras accesibles, fijando carteles con instrucciones precisas. Las personas que de pronto se encuentren en una área contaminada sin mascarilla, deben de tratar de contener su respira

ción hasta donde sea posible y tratar de alcanzar una mascarilla.

Precaución y medidas de emergencia en caso de fugas.- Debe darse atención inmediata a cualquier fuga en las tuberías, el equipo o los recipientes; cuando se produce una fuga se debe retirar al personal de área contaminada y llevarla a una parte más alta que las fugas; sólo debe permitirse en el área, al personal especialmente entrenado hasta que el peligro haya pasado.

Una buena práctica de seguridad exige revisiones diarias en busca de fugas, un algodón impregnado de agua amoniacal o un atomizador con la misma solución ayudan a localizar las fugas por el humo blanco que forma; se debe tener siempre a la mano solución de amoníaco concentrado porque el amoníaco ordinario no es útil. Actualmente en el comercio existen detectores continuos de fugas de cloro, los cuales pueden dar señales visuales y sonoras a una determinada concentración.

Las fugas en las válvulas de un cilindro o tanque, se pueden detener ajustando el empaque.

Si la fuga es a través de la pared del cilindro o tanque, voltee la unidad de modo que escape el vapor y no el líquido; si la fuga es en una tubería, deben cerrarse las válvulas a los lados de ella, así como la de la fuente. Existen equipos de emergencia para manejar fugas en cilindros, tanques, carros tanque, pipas o cisternas y deben estar a la mano en todo tiempo y en buenas condiciones.

No se use agua para reducir el flujo de una fuga, ya que esto solamente lo aumentará, si es imposible detener la fuga o mover el recipiente a un lugar seguro, neutralícese el cloro en solución alcalina; no sumergir el recipiente en ella.

Los consumidores de cloro, particularmente los que utilizan grandes volúmenes, deben preparar programas de control de emergencias y realizar simulacros periódicos, para asegurarse de que son efectivos; los trabajadores deben aprender a usar los equipos de emergencia.

Ventilación.— Las áreas de almacenaje de cloro, en el interior de la fábrica así como las de manejo y uso, deben ventilarse adecuadamente; eliminar los vapores de las áreas de trabajo, aislando parcial o completamente cualquier proceso; la ventilación debe ser suficiente para evitar la acumulación del vapor; el tipo de ventilación dependerá de la densidad del vapor, espacios de aire muerto, temperatura, corrientes de convección y dirección del viento. Estos factores deben tomarse en cuenta también cuando se diseña, se coloca y calibra equipo.

Cuando se diseña el sistema de ventilación debe tomarse en cuenta la posibilidad de fugas de cloro. En una emergencia puede ser necesario un promedio de 1 a 4 cambios de aire por minuto. Debe evitarse descargar el aire contaminado hacia áreas donde el aire puede ser utilizado por un sistema de ventilación distinto ó causar más daños.

Un abanico extractor ubicado convenientemente puede ser suficiente para ventilar un área en que se usa cloro; el abanico inyector debe colocarse fuera de las áreas donde se maneja el cloro.

Las entradas de aire fresco deben ubicarse de manera que proporcionen ventilación cruzada y eviten el vacío en la sala; puede ser necesaria la instalación de entradas múltiples y ventilación extractiva.

Riesgos de incendio.— Aunque el vapor de cloro no es inflama-

ble, no es explosivo ni conductor de electricidad, es un poderoso agente oxidante y a la temperatura del cuarto reacciona directamente con muchos elementos y compuestos oxidables.

Los trabajos con soldadura, corte, u otras operaciones con calor, no deben iniciarse hasta que el ambiente haya sido purgado -- con vapor y luego con aire seco caliente.

En caso de incendio, deben retirarse inmediatamente los recipientes de la zona; desconectar los carros-tanque o pipas y cisternas alejándolos del área peligrosa; si los recipientes no pueden ser retirados y si no está escapando cloro, aplíquese agua para -- conservarlos fríos; todo el personal no autorizado debe retirarse a un lugar distante y seguro.

2.- FUNDAMENTOS DE LA CLORACION.

A.- Conceptos importantes.

Cloración.- La cloración es la operación que consiste en la adición debidamente controlada de pequeñas cantidades (dosis) de cloro al agua con los siguientes propósitos específicos principalmente: desinfección del agua, eliminación de olores y sabores, eliminación de fierro y manganeso, eliminación de color, mantenimiento de filtros y tuberías libres de cualquier cultivo orgánico, ayuda de coagulación, control de bacterias y algas, eliminación de ácido sulfhídrico y tratamiento de agua de desecho.

Cloro residual.- Es la cantidad de cloro remanente (ppm) que queda en el agua después del proceso de cloración. Existen tres tipos de cloro residual; residual libre, residual combinado y residual total.

Cloro residual libre.- Se denomina cloro residual libre a la cantidad de cloro en forma de ácido hipocloroso (HOCl) ó del anión

hipoclorito (OCI^-) que queda después de haber reaccionado con el agua tratada.

Cloro residual combinado.- Se denomina cloro residual combinado a la cantidad de monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) y de tricloruro de nitrógeno (NCl_3), que queda después de haber reaccionado el cloro con aguas que contengan amoníaco ó materia orgánica nitrogenada, o por la adición de cloro y amoníaco al agua.

Cloro residual total.- Se denomina cloro residual total a la suma del cloro residual libre y cloro residual combinado.

Demanda de cloro: Es la cantidad de cloro que reacciona con el agua que se trata, y que depende de todos los factores que influyen en el proceso de cloración como: temperatura, tiempo de contacto, pH, tipo de organismo, etc.

Proceso de cloración del punto de ruptura.- Se denomina proceso de cloración del punto de ruptura, a la cloración basada en la producción y control de cloro residual libre.

Proceso de cloración cloro amoníaco.- Se denomina proceso de cloración cloro-amoníaco a la cloración basada en la producción y control de cloro residual combinado (cloraminas), que se forma al adicionar cloro al agua que contenga amoníaco ó materia orgánica nitrogenada ó por la adición de cloro y amoníaco a la vez.

Supercloración.- Se dice que se está efectuando una supercloración, cuando a dosis de cloro es tal que se sobrepasa en forma innecesaria el punto de ruptura, la cual no es conveniente, debido a un consumo de cloro no necesario, aunque en algunos casos conduce a una rápida eliminación de sabores y olores a través de las reacciones de oxidación de los compuestos que los producen, y también, es conveniente en el caso de torres de enfriamiento donde la

cloración es intermitente.

Precloración.- Se denomina precloración cuando se efectúa la cloración en una planta de tratamiento de agua antes de que el agua pase por los filtros, lo cual es muy conveniente, porque además de satisfacer las necesidades de desinfección, conduce a las siguientes acciones benéficas.

- 1.- Favorece la coagulación de aguas coloreadas y oxida el fierro y manganeso.
- 2.- Previene el crecimiento de algas.
- 3.- Evita la descomposición de lodo sedimentado.
- 4.- Controla el crecimiento de organismos en la arena de los filtros.

Post-cloración.- Se denomina post-cloración, cuando se efectúa la cloración en una planta de tratamiento de agua después de que el agua pase por los filtros, lo cual se empleaba mucho antiguamente, ya que la demanda de cloro (a igualdad de condiciones) es menor por la acción de los tratamientos de purificación precedentes.

Sin embargo, actualmente se prefiere la precloración debido a que se obtienen mayores ventajas, tal y como se indicó en el párrafo anterior ó más preferible los dos procesos simultáneamente.

Decloración.- Se denomina decloración a la operación de eliminación de cloro residual. Se ha visto que en muchos casos, aún cuando el punto de ruptura es sobrepasado, el cloro residual es de pequeña magnitud (lo cual puede suceder no obstante emplear altas dosis de cloro). En algunos casos la supercloración conduce a un cloro residual de tal magnitud, que hacen necesaria la operación de eliminación de éste residual. Se pueden usar los siguientes mé

todos para efectuar una declaración:

1.- Aeración: Generalmente es insuficiente y se requiere de estructuras ó diseños especiales.

2.- Adicionando anhídrido sulfuroso.- Esta sustancia se puede adquirir en cilindros de acero como un gas comprimido y se aplica por medio de aparatos del tipo de los cloradores, por cada ppm de cloro residual que se desea eliminar se necesitan 0.9 ppm de anhídrido sulfuroso.

3.- Adicionando sulfito de sodio.- Deberá usarse en forma --- cristalina, ya que la forma anhídrica es de difícil solubilidad. Puede aplicarse usando aparatos de dosificación - en seco ó en solución. Se necesitan alrededor de 3.5 ppm de sulfito por cada ppm de cloro residual que se desea eliminar.

4.- Adicionando hiposulfito de sodio.- El agregado de éste -- producto debe hacerse en dosis equivalente a las del cloro residual que se desea eliminar, algo mayores si el pH del agua es menor de 7. Cuesta mucho más que el sulfito de sodio.

5.- Carbón activado.- Este polvo puede ser aplicado directamente sobre los filtros que reciben el agua con cloro residual, pero, el procedimiento no es recomendable.

Es preferible tener un filtro aparte de carbón activado, donde se reciba, a una razón de filtración de unos 20 metros cúbicos por metro cuadrado de lecho y por hora, produciéndose así una remoción completa de cloro residual.

Porcentaje de cloro disponible.- Es la parte activa del cloro y de los compuestos de cloro con poder oxidante, y que resulta de-

multiplicar la fracción mol de cloro en éste compuesto, por la diferencia de valencias con que actúa a valencia uno menos. Por ejemplo, en el hipoclorito de sodio, el cloro actúa con valencia -- uno más, y la diferencia a uno menos, es dos, que multiplicado por la fracción mol del cloro en este compuestos (0.477) nos dá el porcentaje de cloro disponible de 95.4%.

B.- Procesos de cloración. En la actualidad se emplean ordinariamente dos procesos de cloración los cuales son:

a.- Proceso de cloración del punto de ruptura.⁽¹⁵⁾

b.- Proceso de cloración cloro amoníaco.⁽³¹⁾

a.) Proceso de cloración del punto de ruptura.⁽¹⁵⁾ Este proceso de cloración consiste, en la producción planeada y controlada de cloro residual libre. Este proceso de cloración sólo es aplicable a aguas que contengan amoníaco ó materia orgánica nitrogenada, a la cual se le puede agregar una cantidad determinada de amoníaco, además del que ya contenga para que exista una relación adecuada de cloro y amoníaco, y se efectúe satisfactoriamente éste proceso.

La secuencia del proceso de cloración del punto de ruptura es el siguiente; cuando se añade cloro a aguas que contengan amoníaco o materia orgánica nitrogenada; lo primero que se forma es cloro residual combinado y hasta que todo el amoníaco o materia orgánica nitrogenada haya reaccionado con el cloro, la cantidad de éste que se siga añadiendo producirá cloro residual libre.

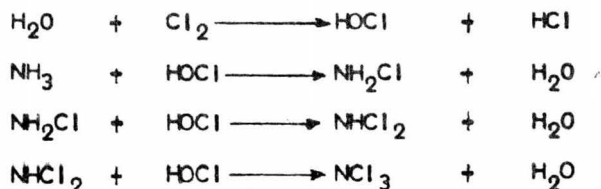
La figura No. 14⁽¹⁴⁾ indica la curva que relaciona dosis y cloro residual, en dicha curva, del punto cero de dosis de cloro, y por consiguiente de cero cloro residual, hasta el punto máximo tiene lugar la formación de monocloramina, del punto máximo al punto mínimo (éste punto mínimo se denomina "punto de ruptura") tiene lu--

gar la conversión de monocloramina a dicloramina, y por último inmediatamente después del "punto de ruptura" se empieza a formar -- cloro residual libre y tricloruro de nitrógeno.

Este proceso de cloración del punto de ruptura, no es aplicable a aguas que no contengan amoníaco ó materia orgánica nitrogenada, debido a que no habría la formación del punto de ruptura, y en cuyo caso al agregar cloro, directamente se forma cloro residual libre, el cual puede ser medido y controlado. No es recomendable que a aguas que no contengan amoníaco ni materia orgánica nitrogenada se le añada amoníaco para que se le pueda aplicar este proceso, debido a la elevada e innecesaria inversión en reactivos y equipo para tal dosificación, sino que éste proceso se aplique a aguas que ya contengan amoníaco ó materia orgánica nitrogenada y solo se agregue la diferencia entre el amoníaco ya existente y el -- que debe de existir para que haya una relación óptima de cloro amoníaco.

Las reacciones del punto de ruptura, se efectúan poco a poco cuando empieza la dosificación de cloro, mientras se forman cloraminas, pero una vez que se han formado éstas, al seguir aumentando la dosis de cloro, la reacción tiene lugar rápidamente para la formación de ácido hipocloroso ó anión hipoclorito y tricloruro de nitrógeno NCl_3 (gaseoso).

Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:



El pH tiene influencia decisiva en la formación de monoclora-

mina y dicloramina, ya que un valor determinado de pH hace que pre-
domine una u otra. La relación de mono a dicloramina es controla-
da por el equilibrio de la siguiente reacción:



La expresión matemática que controla el equilibrio de la anterior-
ecuación es:

$$\frac{(\text{NH}_4^+) \times (\text{NHCl}_2)}{(\text{H}^+) \times (\text{NH}_2\text{Cl})^2} = K \text{ eq.}$$

El valor de la constante de equilibrio K eq., se determinó ex-
perimentalmente y su valor es $6.7 \times 10^{5(3,19)}$ aproximadamente a 25°C. En
esta última ecuación de equilibrio, se observa la determinante in-
fluencia de la concentración de los iones hidrógeno (H^+), o sea, -
el pH en dicho equilibrio.

Para concentraciones de cloro, (ppm) normalmente empleadas -
en la cloración del agua, y para la relación en peso de cloro to-
tal (dosis) a amoníaco de 5:1, la tabla No. 9 indica los porcenta-
jes de cloro como monocloramina y dicloramina a diversos valores -
de pH.

Tabla No. 9 ^(3,19)

Porcentajes de monocloramina y dicloramina a diversos valores
de pH.

pH	Porcentaje de cloro como monocloramina.	Porcentaje de cloro como dicloramina.
5	16	84
6	38	62
7	65	35
8	85	15
9	94	6

La figura No. 15, muestra las curvas residuales de cloro ob-
tenidos a diversos valores de pH, con un período de retención de 2
hrs. y temperatura de 7.2 - 8.9°C.

(15)
En esta figura No. 15 se nota que a distintos valores de pH -

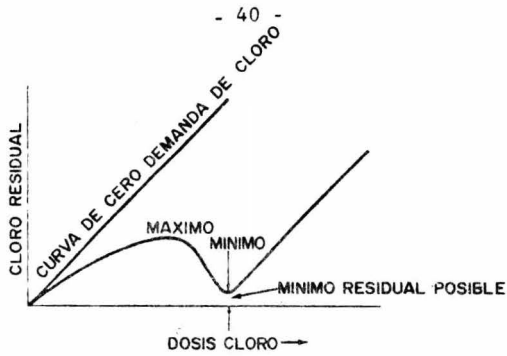


Figura No. 14

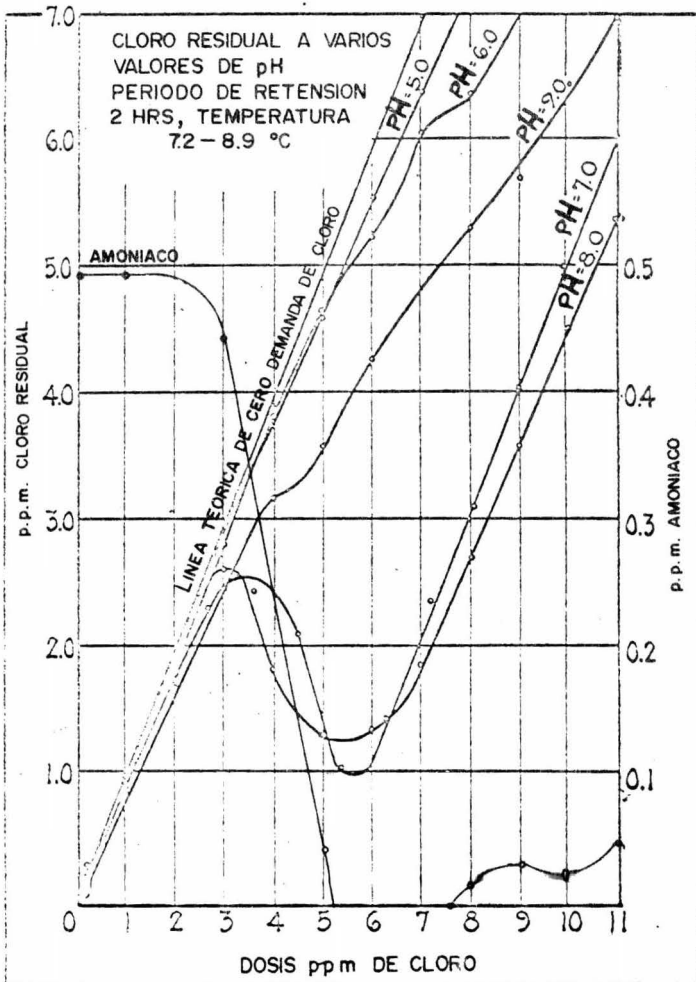


Figura No. 15

se obtienen curvas residuales de cloro diferentes, lo cual resulta de la influencia del valor del pH en la formación de monocloramina ó dicloramina indicado en la tabla No. 9.

En general los factores que influyen para que se efectúe adecuadamente el proceso de cloración del punto de ruptura son los siguientes: valor del pH, tiempo de reacción y relación de cloro a amoníaco expresado en N_2 .

La tabla No. 10⁽¹⁴⁾ indica las condiciones favorables del proceso de cloración del punto de ruptura.

Tabla No. 10⁽¹⁴⁾

Condiciones favorables para la cloración mediante el punto de ruptura.

Valor óptimo del pH	7.5
Intervalo óptimo del pH	6.5 - 8.5
Tiempo de reacción 30 min. aprox. a pH de	7.5
Relación de cloro a amoníaco expresado - en N_2 .	
10: f mínimo.	
25: l para aguas muy contaminadas.	
15: l promedio.	

La figura No. 16⁽¹⁴⁾ indica la curva de cloro residual obtenido, para las condiciones favorables del proceso de cloración del punto de ruptura indicadas en la tabla No. 10.

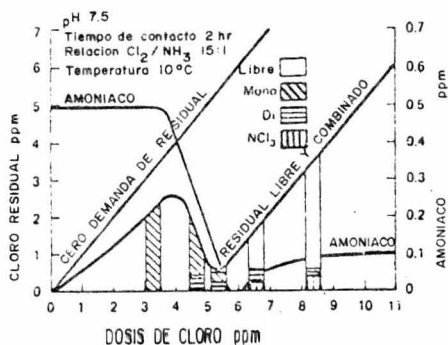


Figura No. 16 Relación de dosis de cloro y cloro residual a las condiciones favorables en el punto de ruptura.

Ventajas del proceso de cloración del punto de ruptura.- Este proceso desarrollado en 1940,⁽³¹⁾ ha sido ampliamente aceptado, porque el cloro residual libre que produce, destruye prácticamente toda bacteria en un intervalo muy corto de tiempo, mientras que, cantidades equivalentes de cloro residual combinado, que se produce en el proceso de cloración cloro-amoníaco, requieren de una, dos ó -- dos veces y media del tiempo empleado por el proceso del punto de ruptura, para obtener el mismo resultado.

Este proceso se emplea satisfactoriamente para los siguientes propósitos específicos de la cloración: control de algas, eliminación de ácido sulfhídrico, eliminación de fierro, eliminación de manganeso, mantenimiento de filtros limpios y mantenimiento de la capacidad de las líneas principales de un sistema de agua potable.

Su principal desventaja, es que no es aplicable a aguas con compuestos fenólicos, ya que daría lugar a la producción de compuestos clorofenólicos causantes de males olores en el agua.

En general este proceso se aplica cuando el tiempo de contacto es corto.

b.) Proceso de cloración cloro-amoníaco.⁽³¹⁾ Este proceso de cloración consiste, en la producción controlada de cloro residual combinado, por la adición de cloro y amoníaco al agua a tratar.

Únicamente se obtienen buenos resultados, manteniendo cuidadosamente la relación adecuada de cloro-amoníaco, que se necesita agregar al agua.

En general y de acuerdo con la tabla No. 9,^(3, 19) la formación de monocloramina, dicloramina y tricloruro de nitrógeno de acuerdo al valor del pH se muestra en la tabla II.

Tabla No. 11 (3,19)

Formación de cloraminas en función del pH	
Para pH 5	predomina dicloraminas.
Para pH mayor de 8.5	predomina monocloraminas.
Para pH menores de 4.4	predomina tricloruro de nitrógeno.

El tricloruro de nitrógeno (NCl_3), no posee propiedades desinfectantes. Dado que las cloraminas, tienen menor poder desinfectante, a igual de concentración que el ácido hipocloroso y anhídrido hipoclorito, es conveniente que se empleen cuando haya largos tiempos de contacto, lo que favorece su estabilidad.

La relación de amoníaco a cloro que teóricamente debe emplearse es de 1:4. Como es natural, si se desea prevenir olores ó sabores, conviene agregar el amoníaco antes que el cloro, puede suceder, que en éstos casos convenga emplear una mayor proporción de amoníaco que de cloro, hasta 1:2. El efecto inhibitor del amoníaco en la desinfección, al emplearse en esta proporción puede ser muy marcado, y entonces es mejor el uso del proceso de cloración del punto de ruptura, excepto si el agua contiene compuestos fenólicos.

Se pueden emplear varios compuestos amoniacales para el proceso de cloración cloro-amoníaco, se distinguen cuatro productos a saber:

- Amoníaco anhidro.
- Agua amoniacal.
- Cloruro de amonio.
- Sulfato de amonio.

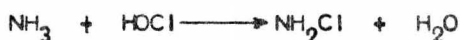
El amoníaco anhidro, es llenado como gas licuado a presión en cilindros de acero, y se aplica al agua por medio de un dosificador de amoníaco gaseoso, lo cual es necesario para evitar posibles succiones de agua dentro del cilindro.

El agua amoniacal (generalmente con 29.4% de amoníaco y una densidad de 26°Beaume), es frecuentemente diluida dos veces su vo-

lumen con agua, y entonces aplicada por un dosificador de líquido.

Tanto el cloruro de amonio como el sulfato de amonio se obtienen como cristales, los cuales se disuelven en agua para su dosificación.

Velocidad de formación de las cloraminas.- La velocidad con que el cloro reacciona con el amoníaco, para formar cloraminas fue estudiada en Harvard E.U.A.,⁽¹⁹⁾ la primera etapa es la formación de monocloramina mediante la siguiente reacción.



La anterior reacción es influenciada decisivamente por el valor del pH en la solución.

La expresión cinética de la velocidad de la reacción es como sigue:

$$- \frac{dc}{dt} = K_r CN$$

Donde:

$$- \frac{dc}{dt} = \text{velocidad instantánea de reacción, moles de HOCl ó NH}_3 \text{ por minuto.}$$

C = Concentración de cloro, moles por litro.

N = Concentración del ion amonio NH_4^+ moles por litro.

La tabla No. 12 muestra el efecto del valor del pH sobre la velocidad de reacción a 25°C.

Tabla No. 12⁽¹⁹⁾

Efecto del pH sobre la velocidad de formación de monocloramina.

pH	$K_r = K \times 10^{-3}$
4.6	8.9
4.71	13.0
6.22	220.0
6.49	580.0
10.95	92.0
12.05	7.4

Velocidad de formación de monocloramina a diversos valores de

pH.- Entre valores de pH 6.5 y 11 la velocidad de reacción, es aún demasiado rápida para que pueda medirse con exactitud por métodos experimentales, pero, puede calcularse por medio de consideraciones teóricas. Dichos cálculos dieron como resultado que la máxima velocidad de formación de monocloramina se obtiene a un valor de pH de 8.3, en cuyo caso el valor de la constante K_p resultó ser de 5×10^6 aproximadamente. (19)

A partir de los anteriores valores, la velocidad de formación de monocloramina puede calcularse para cualquier otra condición, - por ejemplo, para un agua a tratar, a una temperatura de 25°C, dosis de cloro 0.8 ppm, dosis de amoníaco 0.32 ppm; se convierte al 99% de cloro a monocloramina en un tiempo de 1 minuto, a un valor de pH de 8.3, pero, para pH de 5 el tiempo requerido será de 90 minutos.

La velocidad de reacción varía también grandemente con la temperatura, incrementándose a razón de 2.0 a 2.5 veces por cada incremento de 10°C.

La velocidad de formación de dicloramina se está estudiando - en forma similar, pero los estudios no han sido concluidos. Sin embargo predomina la dicloramina a valores de pH bajos, como se indica en la tabla No. 9.

Por lo anteriormente expuesto habrá que determinar las condiciones óptimas para la aplicación de éste proceso, seleccionando el valor óptimo del pH, de acuerdo al tiempo de contacto que se requiera, para obtener una velocidad de formación de cloraminas de acuerdo a éste proceso.

Ventajas del proceso de cloración cloro-amoníaco.- El cloro residual combinado producido por éste proceso, es de acción desin-

fectante más lenta que el cloro residual libre, pero, tiene la ventaja de ser particularmente eficaz con valores de pH superiores de 10, debido a la persistencia de las cloraminas.

En general éste proceso se emplea cuando se disponen de tiempos de contacto grandes, como es el caso de mantenimiento de cloro residual combinado a través de todo un sistema de distribución de agua potable.

C.- Factores que influyen en la cloración.

a.) Tiempo de contacto.- La velocidad de desinfección bajo -- ciertas condiciones ideales tales como; concentración constante -- del agente desinfectante, temperatura constante y la presencia de una especie de bacterias igualmente susceptibles al agente desinfectante está dada por la ley de Chick. (19)

$$\log \frac{N_0}{N} = rt$$

Donde, N_0 y N representan el número de organismos presentes -- antes y después de un tiempo t de tratamiento en minutos respectivamente y r es una constante que mide la velocidad bactericida.

Es sorprendente que muy pocos estudios experimentales no siguen exactamente esta ley. Generalmente la velocidad bactericida disminuye conforme transcurre el tiempo, debido a la supervivencia de los individuos más resistentes, a la disminución de la concentración del agente desinfectante y a otros factores que interfieren.

Ecuaciones más complicadas han sido diseñadas para expresar -- el resultado de estudios particulares, pero sus aplicaciones son -- limitadas.

Lo importante de ésta ley es que sigue una ley logarítmica, y lo significativo es la relación del número de bacterias presentes--

antes y después de la desinfección y nó del número absoluto de bacterias, lo cual conduce en la práctica a expresar resultados en -- porcentajes de bacterias destruidas, así como también, graficas y escalas logarítmicas.

b.) Concentración de organismos.- Es poco conocido el efecto de la concentración de organismos en la velocidad de desinfección, pero las pocas experiencias hechas, han indicado, que este factor no es apreciable en variaciones de 10:1. Este factor es de importancia investigarse en la desinfección de aguas negras donde la variación en concentración de organismos es grande.

c.) Concentración del agente desinfectante.- Un análisis de los datos de varias fuentes de investigación, muestran que el tiempo requerido para destruir un porcentaje constante de bacterias o de otros organismos, depende de la concentración del agente desinfectante de la siguiente manera:

$$C^n t = \text{Constante.}$$

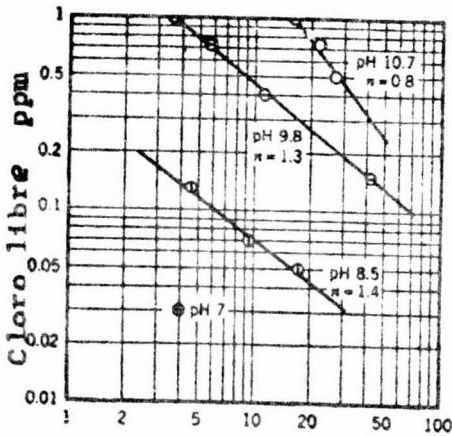
Donde C es la concentración del agente desinfectante, t es el tiempo necesitado para eliminar un porcentaje determinado de organismos y n es un valor numérico que depende del tipo de desinfectante, la clase de organismos y la temperatura. En la figura No. 17 se muestran las necesidades de cloro residual libre para matar el 99% de bacterias a diferentes tiempos de contacto y valores de pH, en la figura No. 18 se muestran las necesidades de cloro residual combinado, para matar el 50% de bacterias. Esta ecuación es empírica y no tiene hasta ahora justificación teórica, la constante n es un número positivo y su valor numérico varía de 0.75 a 2.0 siendo su valor más común 1.0. El valor de n es una medida de la variación de la eficiencia bactericida del agente desinfectante --

(10)
 con el cambio de concentración. En la tabla No. 13 de los estudios
 de Fair, Morris y Chang se muestran algunos valores de n para diver
 (10)
 sos desinfectantes y organismos.

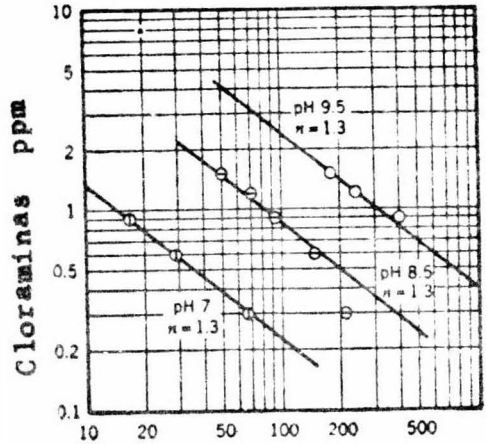
(10)
 Tabla No. 13
 Valores de n para diversos compuestos de cloro.

Substancia.	(1)	(2)	(3)	(4)
HOCI	1.0	1.6	0.67	0.9 1.0 0.95
OCl ⁻	2.0	0.75	—	—
NHCl ₂	1.0	0.75	0.8	0.8
NH ₂ Cl	1.0	—	—	—

- (1) Quiste de endamoeba histolitica.
- (2) Bacterias de familia enterobacteriaceas.
- (3) Espora B. antracis.
- (4) Espora B. metiens.



Tiempo de contacto en min.
 (6)
 Figura No. 17.- Tiempo de contac
 to en min. para destruir el 99%
 de bacterias.



Tiempo de contacto en min.
 (6)
 Figura No. 18.- Tiempo de
 contacto en min. para des-
 truir el 50% de bacterias.

d.) Efecto de la temperatura.- El efecto de la temperatura sobre la velocidad de desinfección, sigue la ley que gobierna la velocidad de todas las reacciones químicas con la temperatura.

$$\log \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_1 - T_2)}{4.575(T_1 T_2)}$$

donde, el valor de t representa el tiempo requerido para destruir iguales porcentajes de bacterias, a las temperaturas absolutas T_1 y T_2 y E es una constante característica del desinfectante y de las bacterias.

Esta ecuación es una expresión que puede ser simplificada tomando intervalos de temperatura de 10°C , y el lado derecho de la expresión matemática viene siendo muy cercana a una constante, y la relación t_1/t_2 se le llama Q_{10} , la cual representa el incremento relativo en la velocidad de desinfección por cada 10°C de incremento en la temperatura.

Por ejemplo, si Q_{10} es igual a dos, la velocidad de desinfección es duplicada por cada 10°C de elevación en la temperatura.

Algunos valores de Q_{10} para el organismo E Coli calculados -- por Fair de los estudios de Butterfield se muestran en la tabla No. 13.

(19)
Tabla No. 13
Valores de Q_{10} para el organismo E Coli.

Cloro residual libre.		Cloraminas.	
pH	Q_{10}	pH	Q_{10}
7.0	1.65	7.0	2.08
8.5	1.42	8.5	2.28
9.8	2.13	9.5	3.35
10.7	2.5		

e.) Eficiencia del poder desinfectante del HOCl y OCl^- .- Se ha visto que la eficiencia de desinfección, disminuye conforme aumenta el valor de pH y de acuerdo a la figura 5 se concluye que el

HOCI es mucho más efectivo que el OCl^- . Las proporciones de HOCl y OCl^- , así como sus eficiencias relativas de desinfección pueden ser evaluados por medio de la constante de disociación de HOCl.

Si R es el cloro residual total como HOCl y OCl^- , necesarios para obtener un porcentaje de eliminación de un organismo específico, A es la concentración de HOCl, solamente necesaria para obtener este porcentaje de eliminación y B es la relación de eficiencias de OCl^- a HOCl, la expresión matemática que nos relaciona las anteriores variables es:

$$R = A \frac{1 + \frac{K}{(H^+)}}{1 + B \frac{K}{(H^+)}}$$

Donde K es la constante de ionización del HOCl, y (H^+) es la concentración de iones hidrógeno.

Por ejemplo: para matar el 99% del organismo E Coli en 30 minutos a una temperatura de 2 a 5°C los resultados para la anterior ecuación son como siguen:

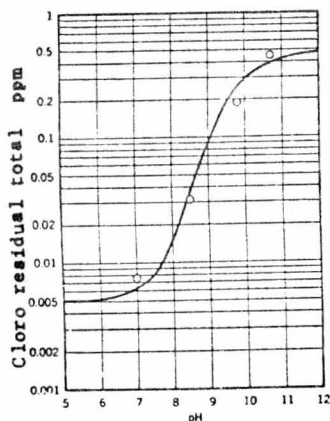
$$R = 0.005 \frac{1 + \frac{2.2 \times 10^{-4}}{(H^+)}}{1 + 0.012 \frac{2.2 \times 10^{-4}}{(H^+)}}$$

La figura 19 indica en forma gráfica esta expresión, y muestra que a un valor de pH 5 (donde prácticamente solo existe HOCl) se requirieron 0.005 ppm de cloro y a un valor de pH 10.7 (donde prácticamente solo existe OCl^-) se requirió 0.4 ppm de cloro, obviamente se vé que el HOCl es mucho más eficiente al necesitarse solamente 0.005 ppm y la relación de eficiencia de OCl^- al HOCl es $0.005/0.4 = 0.012$ equivalente aproximadamente a 1/80 de efectivo con relación al HOCl.

D.) Metodos para determinar cloro residual en el agua.

a.) Metodo Yodométrico.- El principio de este método se basa,

en que a un valor de pH de 8 ó menor el cloro residual libre, combinado ó total desplazan al yodo de sus compuestos, tal como el yoduro de potasio. Por consiguiente el yodo desplazado es proporcional a la cantidad de cloro residual presente. El yodo liberado es titulado con una solución de tiosulfato de sodio, empleando una solución de almidón como indicador.



(15)

Figura No. 19.- Eficiencia relativa del poder desinfectante entre el HOCl y OCl₂.

Brevemente el procedimiento para efectuar este método es el siguiente.

1.-) El pH de la muestra se ajusta al intervalo deseado por medio de una solución reguladora.

2.-) Se adiciona yoduro de potasio e inmediatamente el yodo es desplazado, el cual le da un color café a la muestra.

3.-) Se adiciona tiosulfato de sodio, en cantidad tal, hasta-

que el color café desaparezca.

4.-) Se adiciona una solución de almidón, la cual le da un color azul a la muestra en presencia del yodo.

5.-) Por último se sigue la titulación con tiosulfato de sodio hasta que el color azul desaparezca.

Las siguientes ecuaciones muestran las reacciones químicas -- que se efectúan:



Este método es adecuado para la medición de concentraciones -- altas de cloro residual, es más preciso que el método de la ortotolidina a concentraciones mayores de 1 ppm. Mide cloro residual total, no diferencia entre cloro residual libre y combinado es el método más usual de laboratorio.

Los factores que afectan en forma negativa este método, son -- los siguientes:

1.-) El valor del pH, al cual la reacción se efectúa es crítico.

2.-) La velocidad de reacción del tiosulfato de sodio, es una función por pasos, por consiguiente introduce un factor -- de tiempo en la reacción, la que se ha visto es lenta.

3.-) Es considerable la interferencia de nitritos, iones fé-- rricos e iones mángánicos con el indicador de almidón.

Otras desventajas de éste método son: la inestabilidad relativa de las soluciones de tiosulfato de sodio y almidón, el intervalo limitado de sensibilidad, la sensibilidad del punto final que -- es afectado por la temperatura de la muestra; y en general por los grandes volúmenes de muestra que deben de utilizarse.

b.-) Método de la ortotolidina.

Este método es universalmente aceptado para la determinación de cloro residual; debido a la sencillez de su procedimiento, a -- que necesita de un solo reactivo, a lo rápido con que se efectúa -- la prueba y a lo económico del equipo que se necesita.

El método de la ortotolidina mide con exactitud cloro resi--- dual total en agua poco contaminada. En aguas contaminadas, la -- exactitud disminuye dando lecturas altas en relación a las que de- berían obtenerse. Puede medir cloro residual libre, cuando la lec- tura se hace inmediatamente en cuanto se desarrolla el color y a -- la vez haber enfriado la muestra a 1°C.

La ortotolidina (O.T.) es un compuesto, que cuando es oxidado a varias condiciones de alcalinidad ó acidez, y a diferentes con-- centraciones de oxidante, produce un complejo de varios colores; a marfil verdoso, rojo anaranjado, azul y azul verdoso.

Muchos Investigadores,⁽³⁰⁾ estudiaron la reacción química de la -- ortotolidina con el cloro, y encontraron los siguientes factores -- que la afectan en forma negativas:

- 1.- pH de la muestra.
- 2.- Relación en peso de O.T. a cloro en la muestra.
- 3.- Método de adición del reactivo.
- 4.- Efecto del tiempo sobre el desarrollo del color y su dis- minución en intensidad.
- 5.- Acidez del reactivo.
- 6.- Efecto de la luz solar sobre el color.
- 7.- Preparación y revisión de patrones de color de uso tempo- ral y permanente.
- 8.- La necesidad de metodos de corrección por la interferen--

cia de manganeso, fierro y nitritos.

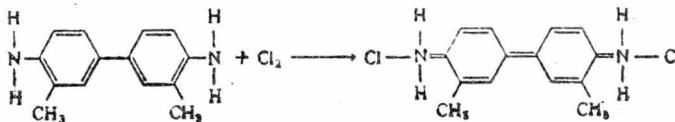
9.- Una revaluación de las pruebas, para cloro residual mayor de 1.0 ppm.

Reacciones químicas que se efectúan entre la O.T. y el cloro.

Tres son las reacciones químicas que se efectúan entre la O.T. y el cloro

(30)

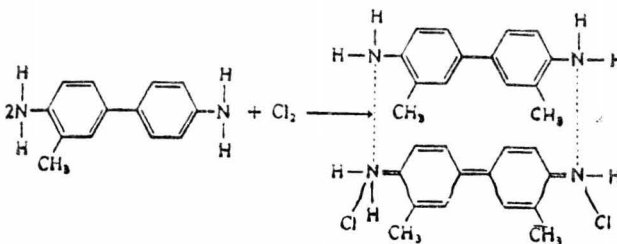
1.-) Reacción para la formación de la holoquinona.- Esta reacción es la deseada, la O.T. es completamente oxidada para producir holoquinona de O.T. la reacción es la siguiente.



Con residuales de 1 ppm ó menos, las holoquinonas son de color amarillo, conforme el residual de cloro aumenta de 1 a 10 ppm, la intensidad del color amarillo aumenta hasta llegar a un color café, esta reacción da los colores más estables posibles en la prueba de la O.T.

(30)

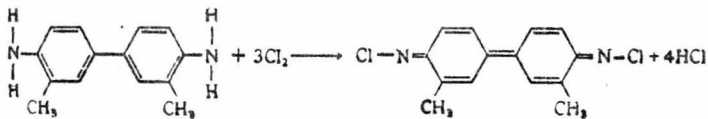
2.-) Reacción para la formación de la meriquinona.- Esta reacción no es deseada debido a que la O.T. es prácticamente oxidada y por consiguiente los colores son inestables.



A un valor del pH no mayor de 1.8 en la muestra, el color de las meriquinonas varían de azul a amarillo ó cualquier color intermedio entre ellos. Entre valores de pH de 2.0 a 6.0, la O.T. en presencia de cloro residual libre puede ser un buen indicador de pH. Colores para valores específicos de pH son posibles, pero la concentración de O.T. y valores de pH son críticos para obtener resultados repetibles. Para pH mayor de 1.8 todos los colores son propensos a disminuir rápidamente su intensidad. Por consiguiente debe evitarse la formación de meriquinonas.

(30)

3.-) Reacción de oxidación en cadena de la holoquinona.- En esta reacción 1/3 de mol de O.T. reacciona con una mol de cloro para formar una holoquinona oxidada de color rojo. Una mol de ácido clorhídrico es formada por cada hidrógeno de los grupos quinoides en la estructura del compuesto. La reacción es:



El color rojo producido significa que es insuficiente la cantidad de O.T. que se ha empleado para la concentración de cloro en la muestra.

La holoquinona oxidada se forma más fácilmente a valores de pH en la muestra de 1.8 ó menores. Cuando la concentración de cloro residual es de 7 ppm ó menor y el ácido clorhídrico presente es insuficiente se forma un precipitado rojo que le da la coloración a la solución.

Efecto del pH.- El efecto de la acidez es el factor más importante que interviene en la obtención de colores reproducibles y --

cuantitativos en la reacción de la O.T. con cloro. El mínimo valor de pH es de 0.3 a 0.5, pero es impráctico la obtención de valores tan bajos de pH, de tal manera que éste límite mínimo no tiene significado. El valor máximo del pH depende de la concentración de cloro. Para cloro residual de hasta 10 ppm, el valor del pH no debe ser mayor de 1.8.

El efecto de sustancias interferentes como los nitritos, manganeso y fierro aumenta al aumentar el pH, debido al potencial de oxidación y reducción de los materiales y que son afectados por el cambio de acidéz.

Efecto de la concentración de O.T.- Una deficiencia de la O.T. produce un color que varía del anaranjado al rojo. Esta variación del color es ligeramente diferenciada para concentraciones bajas de cloro residual (menores de 1.0 ppm), pero, este efecto negativo se incrementa cuando la concentración de O.T. es deficiente y a la vez está incrementada la concentración de cloro residual. Por consiguiente, deberá haber un mínimo en la relación en peso de O.T. a cloro de 3:1.

Efecto del método de adicionar el reactivo.- Es imperativo -- que la muestra sea adicionada a la O.T. y a la vez efectuar un mezclado rápido y continuo para obtener colores cuantitativos y reproducibles. Es imposible hacer una buena mezcla si la celda de muestreo es profunda, por lo cual, la muestra se adiciona a la O.T. en un recipiente adecuado por separado mezcándose continuamente e inmediatamente después transferirla a la celda de muestreo.

La adición de la O.T. a la muestra dá resultados erráticos debido a retrasos en el mezclado y normalmente perdidas de cloro con el material que consume cloro en la celda. En cambio si la mues--

tra se adiciona a la O.T. el color será formado antes que se efectúe la reacción y el material que consume cloro.

Prueba instantanea de "Laux" con O.T.⁽³⁰⁾- Esta prueba está basada en el punto de ruptura del cloro residual, y consiste en poder diferenciar cloro residual libre y total. Para medir cloro residual libre, la muestra se enfría a 1°C y la lectura se tomará instantaneamente, después de haberse efectuado la reacción rápida de la O.T. y muestra clorada. Para medir cloro residual total se hace reaccionar la O.T. y la muestra a temperatura ambiente, y la lectura se toma 5 minutos después, ya que es el tiempo necesario para desarrollar el máximo color. Por consiguiente, la diferencia entre la lectura del cloro residual total y la lectura de la prueba instantanea, nos dará la cantidad de cloro residual combinado.

c.-) Método de ortotolidina arsenito (O.T.A.).- Después que Laux descubrió las diferencias de velocidades en el desarrollo del color amarillo, al reaccionar la O.T. con cloro; Halliman propuso el método de la O.T.A. en 1944,⁽³⁰⁾ basándose en la relativa baja velocidad del desarrollo del color de las cloraminas con O.T., en comparación con el instantaneo desarrollo del color del cloro residual libre con la O.T.

El método de Halliman consiste en hacer la prueba instantanea del cloro residual libre y luego adicionar a la muestra arsenito de sodio para prevenir el desarrollo del color causado por las cloraminas, si es que se encuentran presentes. Asi mismo, introdujo una etapa adicional para evitar la acción de sustancias interferentes, y que consiste, en un tercer tubo de muestreo donde la muestra es declorada con arsenito de sodio, y entonces la O.T. se añade para que reaccione con fierro, manganeso y nitritos. Si al-

gunas de estas sustancias están presentes en cantidades suficientes, el color producido representa el error total debido a estas - sustancias. Este error entonces se sustrae.

d.-1 Método de titulación amperométrico.- Este método está - basado en el principio del balance nulo en un amperímetro, que compara la corriente suministrada a una solución electroóptica, en este caso solución clorada, contra la fuerza electromotriz generada- por la acumulación de iones hidrógeno en el cátodo de la celda que está conectada al suministro de corriente y al adicionar un agente reductor para neutralizar el cloro en la muestra, este balance es- desviado hasta alcanzar un equilibrio, mismo que nos dará el punto final de la adición del agente reductor.

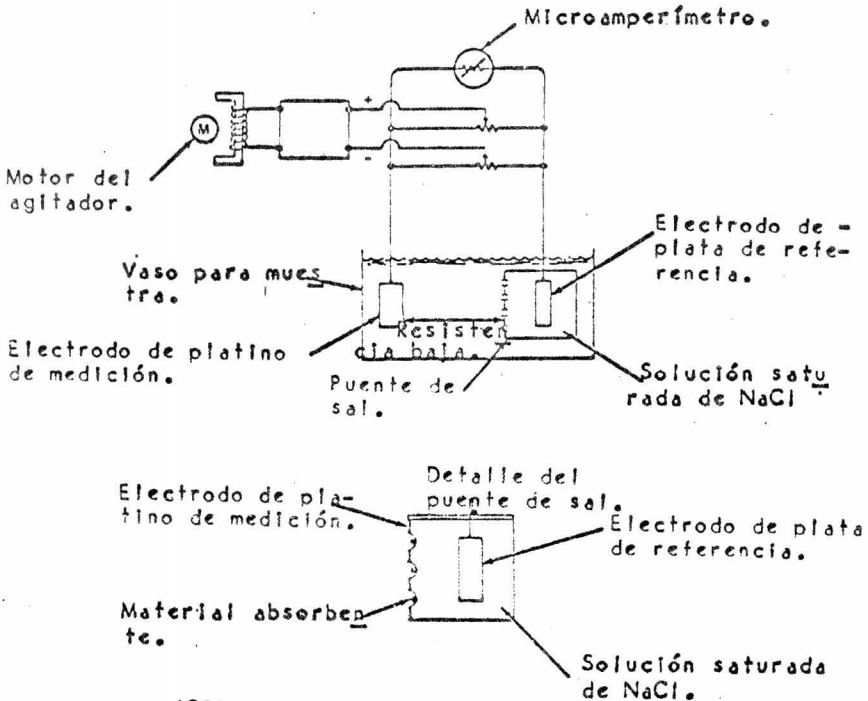
(30)

La figura No. 20 muestra esquemáticamente la operación del titulador amperométrico empleado en este método. Este titulador consiste en un electrodo de medición de platino (cátodo), en el cual- se acumulan los iones hidrógeno (este fenómeno se denomina polari- zación) y un electrodo de referencia de plata, el cual es un ánodo no polarizado, debido a que está sumergido en una solución de sal.

Debido a las bajas concentraciones de cloro que son medidas,- el área de superficie del electrodo de medición debe ser grande para incrementar la sensibilidad de la celda. En este caso la co--- rriente producida es alrededor de 2,5 microamperes por cada 0,01 - ppm de variación en la concentración de cloro. Se necesita una a- gitación eficiente sobre el área del electrodo de medición para obtener una buena y uniforme difusión de corriente.

La parte eléctrica entre la muestra de agua (electrolito) y - electrodo de espiral de platino debe ser de la menor resistencia - posible. En la operación de la titulación del agente oxidante (-

(HOCl ó I_2), el agitador se coloca y se pone a funcionar, el puntero del microamperímetro se desvía hacia la derecha, dependiendo de la concentración de agente oxidante. Posteriormente se va adicionando el agente reductor (óxido férrico arsenoso), el cual hace que decrezca la concentración del agente oxidante y a la vez decrece la corriente a través de la celda. Cuando el agente oxidante ha sido completamente reducido, el punto final de la titulación se indica por no haber mayor cambio en el puntero del microamperímetro, aún cuando se siga adicionando más óxido férrico arsenoso.



(30)

Figura No. 20.- Diagrama del titulador amperométrico con un solo electrodo de medición.

La importancia de este método, se debe a las características de agente reductor que posee el óxido fenil arsenioso. Se probaron otros agentes reductores y fueron descartados por diversas razones; por ejemplo, el tiosulfato empleado en el método yodométrico no tiene la propiedad suficiente para diferenciar entre cloro residual libre y combinado; además, en la reacción de reducción -- por pasos causa retrasos que interfiere con el punto final de la titulación. El arsenito de sodio que fúé empleado en las primeras investigaciones de este método, pareció ser adecuado debido a que reacciona solamente con el cloro residual libre en ausencia de yoduro de potasio y con cualquier cantidad de yodo liberado por cloraminas en presencia de yoduros. Sin embargo no reacciona cuantitativamente a pH abajo de 6, lo cual es esencial para la determinación de dicloraminas, las cuales liberan yodo solo a valores de pH muy por abajo de 6.

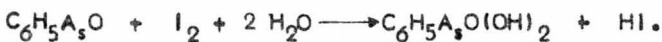
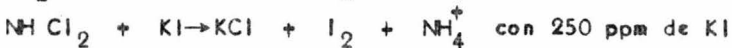
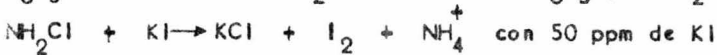
Determinación de los diferentes tipos de cloro residual por este método.

- 1.-) Cloro residual libre.- La determinación de este tipo de cloro residual se basa en que el óxido de fenil arsenioso solamente reacciona con el cloro residual libre a pH de 7 en ausencia de yoduro de potasio.
- 2.-) Determinación de monocloraminas.- La determinación de este tipo de cloro residual se basa en la medición del yodo liberado del yoduro de potasio por las monocloraminas a pH de 7, como se ve esta medición es indirecta ya que se está titulando yodo, pero el cual es proporcional a la cantidad de monocloramina. Este procedimiento se efectúa después de haber determinado cloro residual libre.

3.-) **Determinación de dicloramina.**- La medición de dicloraminas sigue después de haber determinado las monocloraminas y consiste en medir el yodo liberado por las dicloraminas pero a un pH de 4.

4.-) **Determinación de cloro residual total.**- Obviamente es la suma de los tres tipos de cloro residual anteriormente enunciadados.

Las reacciones químicas que se efectúan son las siguientes:



E.-) **Aplicaciones específicas de la cloración.**

a.-) **Control de bacterias.**- Bajo condiciones favorables el crecimiento y reproducción de bacterias se efectúa con sorprendente rapidez.

Cuando el crecimiento llega a su máxima velocidad el tiempo de generación es aproximadamente de 20 minutos. El agua relativamente poco contaminada no es un medio adecuado para el crecimiento rápido de bacterias, en cambio es favorable cuando se calienta relativamente, como el caso de una alberca, o contiene desperdicios orgánicos.

Si se permite un crecimiento inmoderado, aún por cortos períodos de tiempo, puede haber graves consecuencias, por ejemplo; podría originarse una epidemia, si hubiera interrupción en el proceso de cloración, en una agua que tuviera microorganismos patógenos o bien, habría interrupciones costosas en un proceso de elaboración de productos alimenticios, si un número excesivo de algas pa-

san dentro de este proceso.

La velocidad de exterminio de las bacterias es mayor para valores de pH de 5-6 que para valores de pH de 9-10.

La efectividad de la cloración varía directamente con la temperatura, sin embargo, las bacterias no siempre se destruyen instantáneamente cuando son atacadas con cloro, se requiere de un tiempo de contacto para que el cloro penetre a la membrana de la célula o para actuar sobre las enzimas que necesita la bacteria para sobrevivir. El tiempo de contacto necesario se regula por normas oficiales y varía de 15 a 40 min. o más, dependiendo de las condiciones locales.

En cualquier caso, un mayor tiempo de contacto permitirá una completa destrucción. El cloro residual libre destruye prácticamente todo tipo de bacterias patógenas en un período de 3 a 4 min. mientras que las mismas concentraciones de cloro residual combinado necesitan de 90 min., o más.

Para el control bacteriano se sugieren las cantidades de cloro residual libre indicadas en la tabla No. 15 en las plantas de tratamiento.

(14)

Tabla No. 15

Cloro residual recomendable para eliminación de bacterias.

Variación de pH	Tiempo de contacto 10 min.	Cloro residual libre.
6-8		0.2 ppm
8-9		0.4 ppm
9-10		0.8 ppm

Estas cantidades usualmente son adecuadas para obtener una conveniente desinfección con un tiempo de contacto de 10 min. a temperatura ambiente.

(14)

b.-) Control de sabores y olores.

La cloración con cloro residual libre es efectiva para controlar los olores y sabores encontrados en aguas naturales y aguas -- contaminadas con desperdicios.

Los sabores y olores más frecuentemente encontrados se deben a las siguientes causas.

- 1.- Crecimientos acuáticos, tales como algas, diatomeas y otros materiales orgánicos.
- 2.- Compuestos inorgánicos encontrados en las fuentes naturales como sulfuro de hidrógeno y sulfatos.
- 3.- Contaminación por desperdicios tales como sulfitos y fenoles.

Los olores y sabores producidos por las dos primeras causas son controlados con cloro residual libre y concentraciones similares a los empleados para el control bacteriano, ejemplos de 0.2 a 0.8 ppm, sin embargo, las necesidades de cloro para alcanzar estas cantidades pueden ser considerablemente mayores.

El tiempo de contacto es un factor muy importante en el tratamiento de crecimientos acuáticos, muchas veces después de ser exterminada la materia orgánica con cloro, se ha observado la aparición de una especie de aceite, el cual es responsable del olor y sabor.

Este aceite debe ser oxidado por el cloro, algunas veces este proceso es muy lento y en ocasiones se requiere un tiempo mayor de 4 horas. Sin embargo, la mayoría de los sabores y olores producidos por la tercer causa, se pueden eliminar adecuadamente con cloro residual libre.

Algunos olores y sabores son notablemente resistentes a este tipo de tratamiento (cloración por el proceso de punto de ruptura)

Los olores y sabores causados por compuestos fenólicos es el ejemplo clásico. En este caso en especial, conviene la cloración por el proceso de cloro-amoníaco, para evitar la formación de compuestos cloro fenólicos, que se formarían si se emplea la cloración por el proceso del punto de ruptura, los cuales causan olores muy desagradables.

Sin embargo, para éste y otros casos difíciles puede emplearse el procedimiento de cloración de punto de ruptura con las siguientes indicaciones, para eliminar los olores y sabores.

- 1.- Proceso del punto de ruptura con altos residuales de cloro libre seguidos por de cloración.
- 2.- Proceso del punto de ruptura y carbón activado.
- 3.- Proceso cloración del punto de ruptura seguido por un tratamiento con dióxido de cloro.

Cuando en el tratamiento de aguas con olores y sabores, las dosis de cloro son insuficientes a las necesidades para obtener el punto de ruptura, el olor ó sabor pueden intensificarse en vez de eliminarlos. Una atención esmerada en la cloración ó filtración eliminará muchas materias causantes de los olores y sabores.

La protección del agua en un sistema de distribución no debe ser descuidada y debe de considerarse una re cloración ya que el cloro residual libre tiende a desaparecer en el sistema ó en los tanques de almacenamiento.

En la práctica del tratamiento de aguas, la temperatura y el pH no son críticos en el control de los sabores y olores, entre límites normales. Sin embargo, en el ablandamiento del agua al tratarla con cal, el pH elevado tiende a hacer más difícil el control de olor y sabor, al clorarla, y en tales casos la cloración debe -

preceder a la adición de cal, procurando dar suficiente tiempo de contacto y donde el pH sea un intervalo aproximado al óptimo.

El tiempo de contacto es un elemento importante en el control de sabores y olores, ha sido señalado anteriormente que 4 horas ó más son necesarios.

La adición de cloro suficiente para producir cloro residual - libre de 0.2 a 0.8 ppm es usualmente satisfactoria, excepto en el caso de una cloración para producir cantidades elevadas, conocida como "sobre cloración".

Las cantidades de cloro, amoniaco, dióxido de cloro, carbón - activado y demás reactivos, deberán determinarse por pruebas.

c.-) Control de algas. ⁽¹⁴⁾

Recipientes abiertos para aguas claras y filtradas están sujetos a crecimientos de algas, los cuales pueden ser protegidos manteniendo cloro residual libre con una magnitud no menor de 0.5 ppm. Puesto que la luz solar tiende a descomponer el cloro residual libre, el medio más práctico para evitarlo, es colocar una estación de cloración en el recipiente y controlar éste crecimiento con un sistema de recirculación similar a los usados en las albercas. En este sistema un controlador del clorador por cloro residual puede usarse, porque las variaciones de la luz solar y la temperatura afectan el cloro residual.

El tiempo de contacto es normalmente suficiente en un tanque para completar las reacciones químicas desarrolladas.

d.-) Eliminación de ácido sulfhídrico. ⁽¹⁴⁾

El cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico convirtiéndolo en azufre ó sulfato, dependiendo de la cantidad de cloro aplicado.

a.-) La conversión de H_2S a S por cloración es como sigue:



La variación de pH óptimo es de 5.0 a 5.9

La temperatura no es un factor apreciable.

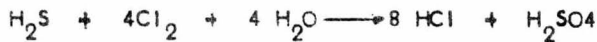
El tiempo es corto a pH 5.0 y más largo conforme el pH aumenta.

El cloro necesario es de 2.1 ppm por cada parte por millón de

H_2S .

El azufre precipitado se elimina por filtración.

b.-) Conversión a sulfatos.



La variación óptima de pH es de 6.5 a 9.

La temperatura no es un factor apreciable.

El tiempo es corto a pH 9.0 más largo conforme el pH disminuye.

El cloro necesario es de 8.5 ppm por cada parte por millón de

H_2S .

Los sulfatos formados son solubles y no producen turbiedad en el agua, la presencia de cloro residual libre indicará que todos -- los sulfuros han sido convertidos a sulfatos. Una aereación anterior a la cloración eliminará buena parte de los sulfuros.

(14)
c.-) Eliminación de color.

El color en las aguas, donde la eliminación de la turbiedad no es un factor importante, muchas veces puede ser eliminado por cloración con cloro residual libre, sin ningún otro tratamiento excepto quizás por filtración y el control de pH.

El pH deberá ser mantenido del lado ácido y el intervalo más -- efectivo de pH estará comprendido entre los valores de 4.0 y 6.8.

La mayoría de las aguas altamente pigmentadas y de baja turbiedad son sin embargo de naturaleza ácida, o están ligeramente estabilizadas, de tal manera que el cloro sólo será suficiente para re-

ducir el pH.

Se debe tener mucho cuidado cuando la decoloración se efectúe solamente con cloro, ya que debe haber un reajuste de pH para evitar que la corrosión produzca una nueva coloración. La temperatura y el tiempo no son factores importantes en la eliminación de color, pero, es adecuado considerarlos. No hay regla para determinar la cantidad de cloro necesario, excepto, que cuando ya hay cloro residual libre se ha llegado a la máxima eliminación de color.

• Cuando aparte del color han turbiedad y se emplea la coagulación, la precloración hasta cloro residual libre ayudará en la eliminación del color por dos medios. El primero es a través de la oxidación de parte de los agentes causantes del color, y el segundo es como una ayuda de coagulación, de tal manera que pueden obtenerse a la vez dos beneficios; reducción del color y disminución en la dosificación del coagulante. La dosis de cloro es solamente la cantidad necesaria para realizar la máxima eliminación del color, el tiempo, la temperatura, pH y la alcalinidad necesitan ser determinadas, para las necesidades de cloración.

f.-) Ayuda de coagulación.

La precloración hasta cloro residual libre siempre es una ayuda a la coagulación, reduciendo la dosis de coagulante y realizando por sí sola una coagulación. No se entiende claramente como actúa, el cloro como ayuda de coagulación, pero, se cree que se deba a su efecto oxidante sobre la materia orgánica.

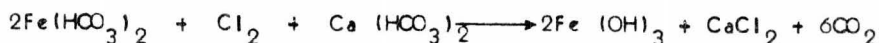
El cloro se usa en la cloración de sulfato ferroso, el cual es un coagulante y de sílice activada, la cual es una ayuda de la coagulación. En este último caso, todo el cloro usado puede estar

disponible para otros propósitos, debido a que no se pierde su capacidad oxidante.

(14)

g.-) Eliminación de fierro.

El cloro oxida al ion ferroso de acuerdo con la siguiente reacción:



El bicarbonato ferroso que es soluble $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ es oxidado por el cloro a hidróxido ferrico insoluble $\text{Fe}(\text{OH})_3$ el cual se precipita y es eliminado por filtración.

pH óptimo 7.0 variación óptima de pH de 4-10

Temperatura la reacción es lenta en agua fría.

Cloro necesario 0.64 ppm por cada ppm de fierro como Fe.

Alcalinidad Se necesita 0.9 ppm de alcalinidad como CaCO_3 -- por cada ppm de fierro como Fe.

Tiempo Máximo 1 hr, mínimo a pH óptimo de 7.0

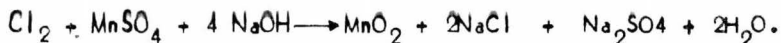
El fierro puede ser oxidado por cloro residual libre ó combinado. Se recomienda utilizar cloro residual libre si el fierro se encuentra como un compuesto organico complejo.

Una preaeración oxidará algo de fierro y reducirá el contenido de CO_2 lo cual tiende a incrementar el valor del pH donde el cloro será más efectivo. Frecuentemente la cal puede emplearse para eliminar el CO_2 remanente y posteriormente elevar el valor del pH.

(8)

h.-) Eliminación de manganeso.

El cloro oxida al sulfato manganeso a dióxido mangánico insoluble.



El dióxido mangánico producido se puede eliminar por filtración.

Los depósitos oscuros de MnO_2 forman una capa sobre la arena filtrante y actúa como un catalizador, que hace posible la completa eliminación del manganeso.

pH óptimo 7.0	Variación óptima de pH de 7-10
Temperatura.	No es un factor apreciable.
Tiempo	De 2 a 3 hrs. a pH 7.0 el cual disminuye conforme aumenta el pH y el cloro residual.
Cloro necesario.	1.3 ppm por cada ppm de manganeso como Mn aparte de la cantidad necesaria de cloro para la eliminación de fierro, amoniaco, ácido sulfhídrico, etc. El cloro deberá estar en forma de cloro residual libre.
Alcalinidad.	La reacción necesita 3.4 ppm de alcalinidad como carbonato de calcio por cada ppm de manganeso como Mn.

1.-) Mantenimiento de filtros limpios. ⁽¹⁴⁾

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas, en donde el cloro se emplea como pretratador antes de la filtración, no se tiene problemas con filtros obstruidos por las algas y lama. Si se pasa agua no clorada a través de filtros de presión o de filtración rápida, las bacterias seguramente obstruirán a éstos.

Si la precloración no es empleada, los crecimientos orgánicos en y sobre las camas de los filtros reducirán la capacidad filtran

te de éstos. Los filtros de arena de filtración rápida son los más susceptibles de padecer éste problema.

El mantenimiento de cloro residual libre en el efluente del filtro con suficiente tiempo de contacto, evitará éstos problemas causados por las lamas y crecimientos de algas en las camas, además, la postcloración será necesaria solamente para mantener la cantidad de cloro residual libre deseado.

Un cuidadoso control de cloración por medio de incrementos graduales en la dosificación de cloro, hasta que se alcanza el punto de ruptura es una medida como remedio en caso de ya existir éste problema.

J.-) Mantenimiento de la capacidad de las líneas principales de un sistema de agua potable. (14)

Los crecimientos biológicos en el interior de la tubería reduce el diámetro interno y puede ocasionar una corrosión inmoderada. Bacterias productoras de lama y de crecimientos filamentosos del tipo de bacterias ferruginosas se encuentran frecuentemente en las tuberías.

La tuberculación puede ser causada por la presencia de organismos reductores de sulfatos. El sulfuro de hidrógeno liberado durante su ciclo de vida reacciona con el cloro y algunas veces hace que el mantenimiento de cloro residual libre adecuado sea difícil. Es importante cuando se aplica cloro para el control de éstos organismos que los residuales sean medidos al final de la red de distribución ó transmisión.

El mantenimiento de cloro residual libre todo el tiempo en el sistema, evita el ensuciamiento por estos organismos, la cantidad de cloro necesario para hacer esta limpieza dependerá de la deman-

da total de cloro en el agua.

k.-) Control de crecimientos orgánicos en camas zeolíticas. (14)

La cloración con cloro residual libre previene el tratamiento de las unidades de ablandamiento por zeolitas debido al crecimiento de lama ó algas.

La tolerancia de las zeolitas sintéticas al cloro varía y deberá consultarse al fabricante antes de que se aplique la cloración. Camas de arena verde no son afectadas por niveles normales de cloro residual libre.

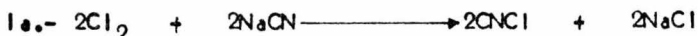
Si se considera que el cloro residual libre deteriorará los materiales sintéticos, habrá que emplear la de-cloración. Para la desinfección de las camas intercambiadoras, ocasionalmente se emplea el tricloruro de melamina para reducir las pérdidas de capacidad al mínimo y crecimientos orgánicos posteriores.

e.-) Eliminación de cianuros por oxidación. (6,7)

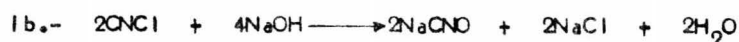
Los cianuros son destruidos por oxidación con un agente oxidante básico, cloro y un álcali ó un hipoclorito (solución alcalina de cloro) a un pH no menor de 8.5. Este proceso de oxidación, es actualmente muy empleado en el tratamiento de aguas de desecho que contengan cianuros y generalmente se le llama "proceso de cloración alcalina". Primeramente, los cianuros son oxidados a cianatos, que es un compuesto menos tóxico y posteriormente los cianatos son oxidados hasta nitrógeno gaseoso y anhídrido carbónico, que son completamente no tóxicos, éste último reacciona con el álcali formando bicarbonatos.

Las reacciones químicas que se efectúan en este proceso son las siguientes:

Oxidación de cianuros a cianatos:

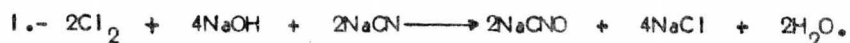


Esta reacción se efectúa instantáneamente a cualquier valor de pH.



Esta reacción se efectúa a un pH mayor de 8,5 y en un tiempo de 10 a 15 minutos.

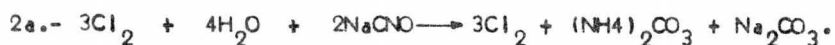
La reacción total de esta primera etapa del proceso es:



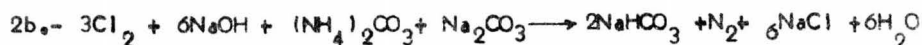
Cloro necesario 2,73 partes ó Kg. de cloro por cada parte ó Kg. de cianuro como CN.

Hidróxido de sodio necesario. 1,125 partes ó Kg. de hidróxido de sodio por cada parte ó Kg. de cloro.

Oxidación de cianatos a nitrógeno y bicarbonatos.

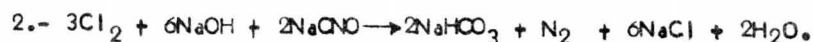


En esta reacción, el cianato es lentamente descompuesto a carbonato de amonio y carbonato de sodio en presencia de cloro, aunque éste último no toma parte en la reacción, algo ayuda a que se efectúe con un tiempo de 1 - 1,5 Hrs.



En esta reacción, el carbonato de amonio entre un pH de 8,5 a 10, rápidamente es oxidado por el cloro a nitrógeno gaseoso y los carbonatos son convertidos a bicarbonatos, se forman en esta reacción aunque no se indica, pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno inerte y tricloruro de nitrógeno volátil.

La reacción total de esta segunda última etapa del proceso es:



Cloro necesario 4,09 partes ó Kg. de cloro por cada parte ó Kg. de cianato como CN.

Hidróxido de sodio necesario. 1,125 partes ó Kg. de hidróxido de sodio por cada parte ó Kg. de cloro.

La cantidad de cloro necesario para la conversión de cianuros hasta nitrógeno y bicarbonatos, es de 6.82 partes ó Kg. por cada parte ó Kg. de cianuro como CN (esta cantidad es la suma del cloro necesario en las dos etapas del proceso), y la cantidad de hidróxido de sodio necesario para este proceso es de 1.125 partes ó Kg., por cada parte ó Kg. de cloro.

m.-) Reducción por cloración de la demanda biológica de oxígeno. (1)

(1)
Se observó desde 1920 que la adición de cloro a aguas de desecho y a aguas negras, reduce la demanda biológica de oxígeno (D.B.O.), debido a la eliminación ó alteración de las sustancias capaces de tener esta demanda. Muchas Investigaciones, (1) han indicado que la aplicación de suficiente cantidad de cloro, hasta producir trazas de cloro residual total después de 15 minutos de tiempo de contacto, reduce en 15 a 35% la D.B.O. de 5 días de incubación; esto equivale a una reducción de 2 ppm de D.B.O. por cada ppm de cloro que reaccionó.

En base a medidas indirectas, se concluye que se efectúan tres tipos de reacciones.

- 1.- Oxidación directa, que resulta de la destrucción de compuestos que ejercen D.B.O.
- 2.- Substitución de cloro por hidrógeno. Cuando se forman cloraminas, que es el resultado de la sustitución del hidrógeno por el cloro en el átomo de nitrógeno y cuando la sustitución del hidrógeno por cloro es en el átomo de carbono se forman compuestos que no tienen poder bactericida pero que tampoco son disponibles por mucho tiempo como alimento.

3.- Adición a compuestos insaturados produciendo nuevamente compuestos que no tienen poder bactericida y que no son disponibles como alimento.

La reducción del D.B.O. se efectúa por medio de dos factores - los cuales son: La eliminación o destrucción de las sustancias - capaces de tener D.B.O. y a la disminución de la velocidad con que éstos compuestos ejercen D.B.O. Snow ⁽¹⁹⁾ encontró que la cloración de aguas frescas de desecho, para producir trazas de cloro residual - total después de 15 minutos de tiempo de contacto, dió como resultado una reducción de solo el 10% del D.B.O. comparado contra el 15 a 35% que usualmente se acepta.

Dosis de cloro tan altas como de 100 a 300 ppm fueron necesarias para reducir hasta al 35% de D.B.O. La cloración hasta el punto de ruptura dió como resultado reducción hasta el 75% de D.B.O. pero son cantidades de cloro prohibitivas por razones económicas.

Snow encontró que la diferencia entre su 10% de reducción de D.B.O. y el 15 a 35% que usualmente se acepta, depende de la influencia sobre el D.B.O. que ejercen las condiciones y etapas de descomposición del agua de desecho y aguas negras.

Si una aereación precede a la cloración, hay una considerable reducción del D.B.O. Snow sugirió este proceso, como una de las etapas intermedias, después de la etapa de la sedimentación en un tratamiento completo de aguas negras.

CAPITULO 11

SELECCION, DESCRIPCION Y OPERACION DE EQUIPO.

CAPITULO II

SELECCION DESCRIPCION Y OPERACION DE EQUIPO.

1.- SELECCION DEL EQUIPO DOSIFICADOR.

Los pasos necesarios para llevar a cabo la selección son los siguientes:

- A.- Determinación del intervalo de dosificación.
- B.- Selección del método de dosificar: cloro en solución, -- cloro gaseoso directo y soluciones de hipoclorito de sodio ó calco.
- C.- Selección del método de control; manual, programado ó automático.
- D.- Selección del tipo de equipo.
- E.- Selección de accesorios, tales como:
 - Sistemas de alarma.
 - Registradores de consumo de cloro.
 - Máscaras protectoras.
 - Aparatos registradores y medidores de cloro residual.
 - Básculas.
 - Detectores de fugas de cloro gaseoso.
- F.- Determinación de las necesidades de la instalación.
 - A.- Determinación del intervalo de dosificación.- El primer paso, en la selección del equipo para la aplicación de cloro en el tratamiento de agua, es fijar las cantidades máximas y mínimas de dosificación, para lo cual se necesita la siguiente información:
 - a.- Tipo de agua que se va a tratar: agua potable, agua negra o de desecho, agua de alberca, etc.
 - b.- Objeto de la cloración: desinfección de agua, eliminación de olor, sabor, y de materia orgánica en cambiadores de calor, reducción de la DBO, etc.; ó algunas de ellos a la vez.

c.- Dosis.- Cantidad de cloro por unidad de volumen a tratar para efectuar el objeto de la cloración, en un tipo de aplicación particular. Estas cantidades normalmente se expresan en ppm de cloro. Ver tablas 16, 17 y 18. (24)

En el caso particular de albercas, las condiciones que afectan las necesidades de cloro son: la continuidad y velocidad de recirculación, eficiencia de la filtración, número y localización de las entradas de agua filtrada a la alberca, cantidad de bañistas, tipo y forma de la alberca, tipo de cloro residual producido, pH y alcalinidad. La dosificación puede basarse sin embargo, en la capacidad de la alberca ó en la velocidad de recirculación, ambos métodos de cálculo se usan ampliamente. La velocidad de recirculación se obtiene, por la capacidad de la bomba, ó multiplicando la capacidad de la alberca por 3, cuando la velocidad de cambio es 3 veces en 24 horas; ó por 4 donde el cambio de agua es 4 veces en 24 horas; ó por cualquier otro número, dependiendo de la cantidad de cambios realizados durante el día.

(24)
Tabla No. 16

Dosis de cloro recomendado para el tratamiento de agua de alberca.

Tipo de Alberca	Aplicación de cloro basado en la velocidad de recirculación.	
	Promedio mínimo.	Promedio máximo.
Cerradas.	2.0 ppm	5.0 ppm
Al aire libre.	3.0 ppm	10 ppm

d.- Gasto de agua que será tratado.- El dato del gasto de agua, se sugiere expresarlo en millones de litros al día, porque la capacidad de los cloradores, esta dada en kilogramos por día,

e.- Dosificación necesaria.- Con la información obtenida en los incisos c y d, la capacidad del clorador se calcula con la --

Tabla No. 17

Dosis de cloro para el tratamiento de aguas.

Objeto de la cloración	Dosis en ppm.	Tiempo de contacto en min.	Cloro residual	
			tipo	ppm
Desinfección: Con Cl_2 residual combinado. Con Cl_2 residual libre.	1.0 - 5 1.0 - 10	Requisitos fijados por las autoridades sanitarias locales.		
Eliminación de amoníaco como N de NH_3	10 X (N- NH_3) existente,	20	Libre	0.1
Control de sabor y olor	10 X (N- NH_3) más 1-5 ppm	20	Libre	1.0
Eliminación de ácido -- sulfhídrico (H_2S)	2.22 X contenido de S para obtener 5 libre. 8.9 X contenido de S para obtener -- sulfatos.	Instantáneo.	Libre ó combinado.	0.1
Eliminación de fierro.* (Fe)	0.64 X contenido de Fe	Instantáneo.	Combinado.	0.1
Eliminación de manganeso.* (Mn)	1.3 X contenido de Mn.	Variable.	Libre	0.5
Eliminación de color.	1.0 - 10	15	Libre ó combinado.	0.1
Control de algas.	1.0 - 10	Variable.	Libre	0.5
Control de lama.	1.0 - 10	Se necesita Cl_2 residual a través de todo el sistema.	libre	0.5
Control de bacterias -- del azufre y fierro.	1.0 - 10		libre	0.5
Ayuda de coagulación para la preparación de: -- sílice activada Cloración de sulfato de fierro.	187 g de Cl_2 X 11 tro de -- Na_2SiO_3 Una parte de -- Cl_2 X -- 7.8 partes de -- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	No es aplicable.		

* También se necesita filtración.

Tabla No. 18

Dosis de cloro para el tratamiento de aguas negras.

Objeto de la cloración	Dosis en ppm	cloro residual en ppm
<u>Desinfección des</u>		
Agua negra reciente	6-12	Las necesida-- des son deter-- minadas por -- las autorida-- des de salubri-- dad ó por re-- glamentaciones estatales.
Agua negra séptica.	12-25	
Agua negra recién asentada	5-10	
Agua negra séptica asentada	12-40	
Precipitación química del efluente.	3-10	
Efluente del filtro de go- teó.	3-10	
Efluente tratado con lodos activados.	3-8	
Efluente del filtro de are- na.	1-5	
<u>Control de olores.</u>		
En alcantarillas.	1-5 - 10	0
En plantas de tratamiento.	5 - 10	0
<u>Operación de lodos acti- vados.</u>		
Control del espesamiento - del lodo.	2-8	0
Aumento de la viscosidad,- aparente del lodo.	Variable.	1.0
<u>Operación filtro de go- teó.</u>		
Control de olor.	2-6	0
Control de la mosca en el filtro.	3-10	0.1
Reducción de la demanda -- biológica de oxígeno (D.B.O.)	6-12	0.2 - 0.5
Tanque Imhoff.	3-15	0
Digestor sobrenadante.	20-80	0 ó trazas

En estos casos no es necesario el tiempo de contacto a excepción hecha para desinfección donde el tiempo es recomendado por las - autoridades sanitarias.

Las cifras son para cloro residual combinado.

guiente formulas

$\text{Kg de cloro/día} = \text{máxima dosificación (ppm)} \times \text{máximo gasto --}$
 $\text{de agua (m.l.d.) m.l.d.} = \text{millones de litros por día.}$

B.- Selección del método de dosificación.- Comercialmente hablando existen varios métodos: soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio, cloro gaseoso directo, solución de cloro en agua, etc.

a.- Hipoclorito.- El método de aplicar soluciones de hipoclorito significa, prepararlas a concentraciones definidas y las condiciones más favorables para su estabilidad (pag.13), y cuya dosificación puede hacerse con bombas dosificadoras (hipocloradores), bombas de transferencia e inyectores.

b.- Cloro gaseoso directo.- Como su nombre lo indica, el cloro gaseoso se dosifica directamente al agua que se va a tratar, y el equipo que se emplea se denomina clorador tipo gas directo.

c.- Solución de cloro en agua.- Consiste en disolver el cloro gaseoso en la menor cantidad de agua posible, y la solución resultante se aplica al agua a tratar. El equipo que se emplea, se denomina clorador tipo solución al vacío.

La selección en particular de cualquiera de estos métodos depende en general del intervalo de dosificación que se necesite, la presión a vencer en el punto de aplicación y el aspecto económico.

La tabla No. 19 da una comparación entre los diferentes métodos y ayuda a tomar una decisión.

C.- Selección del método de control.- Hay varios métodos de control: manual, programado y automático. La tabla No. 20 muestra los diversos métodos de control, recomendados para diferentes condiciones de gasto de agua y demanda de cloro.

D.- Selección del tipo de equipo.- Una vez que se han determinado, los tres primeros pasos en la selección del equipo, puede hacerse la selección del modelo en particular, consultando a las ca-



Tabla No. 19⁽²⁴⁾

Tabla comparativa para la selección del método de dosificación.

Características de comparación	Dosificación en solución de cloro.	Dosificación directa cloro gaseoso	Dosificación de hipoclorito de sodio.
Máxima dosificación del equipo cuando la aplicación es a tubería.	3,640 Kg/día.	34 Kg/día (1)	Ilimitada (2)
Máxima dosificación del equipo cuando la aplicación es a un tanque ó canal abierto.	3,640 Kg/día.	136 Kg/día	Ilimitada (2)
Máxima presión a vencer en el punto de aplicación.	7 Kg/cm ² (3)	1.4 Kg/cm ² (4)	10 Kg/cm ² (5)
Distancia entre el equipo y el punto de aplicación.	Ilimitada relativamente (6)	Limitada (7)	Ilimitada relativamente. (6)
Facilidad de difusión del cloro en el agua a tratar.	Si	No	Si
La operación del equipo se ve afectada por agua fría en el punto de aplicación.	No	Si	No
Se necesita para su operación un suministro de agua a presión.	Si	No	No (9)
Versatilidad para más de un punto de aplicación.	Si	No	Si (10)
Versatilidad para recibir señales de control.	Si	No	Si

Notas:

- (1) La dosificación está limitada por la difusión de cloro gaseoso directamente sobre el agua.
- (2) Ilimitada en cuanto al equipo de dosificación pero, limitada por espacio y costo del equipo de almacenaje de grandes volúmenes de solución y al costo del reactivo en sí.
- (3) La presión a vencer en el punto de aplicación se incrementa utilizando bombas para solución de cloro.
- (4) Limitada ya que la presión con que el cloro gaseoso sale del tanque, es reducida en el equipo de dosificación, para evitar que pase a la fase líquida.
- (5) Depende del tipo de equipo; bomba dosificadora, bomba de transferencia ó inyectores y varía con el intervalo de dosificación.
- (6) Depende de las máximas pérdidas de presión por rozamiento, que se tengan en las líneas de descarga de solución de cloro.
- (7) La distancia máxima entre el clorador de gas directo y el punto de aplicación es de 8 metros, debido a que es peligroso para longitudes mayores.
- (8) A una temperatura inferior a 9.5°C se forman cristales de hidrato de cloro (Cl₂.8H₂O).
- (9) Solamente se necesita cuando la dosificación de hipoclorito se hace con bombas de transferencia e inyectores.
- (10) Solamente para el caso de bombas dosificadoras puede haber más de un punto de aplicación, cuando la bomba tenga más de un cabezal.

Selección del método de control

Tipo de gasto y agua a tratar	Método de control recomendado.
<u>Control manual</u> Gasto y demanda de agua constante.	Manual.- La dosificación -- así como la puesta en mar-- cha y paro se ajustan y e-- fectúan manualmente.
<u>Control programado</u>	Control automático programa do.
a) Gasto de agua uniforme pero de operación intermitente, controlado por un flotador o un interruptor de presión, demanda de cloro fija.	a) Control automático intermitente. La dosificación se ajusta manualmente pero la operación de arranque y paro es automática de acuerdo a un circuito de control.
b) Gasto de agua variable por pasos, tal como el bombeo automático realizado por una serie de bombas de diferentes capacidades controladas unas, otras ó ambas por interruptores de flujo, demanda de cloro constante.	b) Control automático por - pasos, el equipo selecciona automáticamente los -- intervalos de dosificación de acuerdo al circuito de control del arranque y paro de las bombas. Cada intervalo de dosificación se ajusta previamente para cada bomba.
c) Gasto de agua y demanda de cloro variables, en función de un programa de tiempo, tal como una secuencia conocida de diferentes -- gastos o cambios en la demanda -- de cloro en función del tiempo.	c) Control automático programado, el equipo ajusta automáticamente la dosificación de acuerdo al programa de tiempo.
<u>Control proporcional</u>	Control automático proporcional.
a) Gasto de agua variable y demanda de cloro relativamente constante como el caso de un suministro de agua por gravedad o que es bombeado con bombas de capacidad variable.	a) Control automático proporcional, el equipo es completamente automático con relación al gasto y la dosis de cloro permanece constante a pesar de los cambios de gasto. El control se obtiene de un medidor - primario de flujo.
b) Gasto de agua y demanda de cloro variables.	b) Control automático en circuito combinado, el equipo dosifica automáticamente -- en función de las dos variables, recibiendo señales de la medición de flujo de agua y de cloro residual.

sas fabricantes. Haciendo una tabla comparativa, viendo; la disponibilidad del equipo, servicio, precio y tiempo de entrega, lo cual dará la decisión final de la selección.

E.- Selección de accesorios.- Después que el equipo ha sido escogido, el siguiente paso es la elección de accesorios para completar la instalación del mismo.

Entre los accesorios más comunes, cada uno de los cuales tiene a hacer el trabajo del operador más sencillo, mayor seguridad y hacer de la cloración una operación más acertada en sus objetivos, se encuentran los siguientes:

- a) Dispositivos de atención y alarmas; varios tipos son utilizados para indicar un posible problema.
- b) Evaporadores de cloro; Para permitir grandes capacidades de extracción de cloro líquido de los recipientes y su conversión a gas en instalaciones grandes.
- c) Distribuidores de la solución de cloro; Para dosificación de cloro a varios puntos de aplicación.
- d) Máscaras anti-gas para la protección del personal en caso de fugas de cloro.
- e) Registradores de gasto de cloro, los cuales permiten obtener una historia en forma gráfica de la dosificación de cloro.
- f) Analizadores indicadores y registradores de cloro residual, los cuales sirven para controlar, ya sea manual ó automáticamente, los equipos de cloración para mantener los niveles de cloro residual necesario.
- g) Detectores de fugas de cloro; Los cuales sirven para prevenir las fugas de este elemento y evitar los daños que pueda ocasionar.

h) Básculas de varios tipos, para el peso de los recipientes de cloro y tener un registro del inventario del cloro.

F.- Determinación de las necesidades de la instalación.- Habiendo seleccionado el equipo, los controles y accesorios convenientes, un paso posterior, es asegurarse que puedan ser instalados y operados en forma eficiente.

Esto implica la determinación de las necesidades de la instalación, de los utensilios, etc. Algunos de los puntos a revisar son:

- a) Suministrar cloro ó hipoclorito al sitio conveniente en las cantidades necesarias.
- b) El sitio debe ser accesible para inspección, ajuste y mantenimiento.
- c) La mayoría del equipo debe estar protegido del medio ambiente.
- d) Si se emplean alarmas, circuitos de control etc., el alambrado de las líneas deberá ser apropiado.
- e) Si se emplea cualquier tipo de control automático, el medidor primario deberá ser el adecuado, cualquier dispositivo diferencial debe ser localizado a una distancia razonable del equipo y los controles necesarios, equipo auxiliar, línea de aire (en caso de ser necesario), deben ser suministrados.

2.- DESCRIPCION Y OPERACION.

A.- Clorador tipo solución.- El clorador tipo solución lleva las siguientes unidades:

Una válvula reductora y reguladora de la presión de cloro, la cual consiste de un diafragma, un vástago y resorte; en donde la presión proveniente del cilindro se reduce hasta menos de la pre--

sión atmosférica.

Un rotámetro, colocado entre la válvula reductora de presión de cloro y la válvula de control, permite dar la indicación del gasto de cloro.

La válvula de control, está colocada entre el rotámetro y un par de válvulas reguladoras de presión de cloro y vacío. A través de ella se mantiene una presión diferencial constante, por medio de la válvula reguladora de vacío.

La válvula reguladora de vacío colocada entre la de control y el inyector, consiste de un diafragma, vástago y resorte. Si a través del inyector, debido a las condiciones hidráulicas, hay variaciones en el vacío, ésta válvula por medio del resorte lo mantiene constante.

Válvula de alivio de presión y vacío instalada entre la entrada y salida a la del rotámetro, consiste de 2 resortes, vástago y diafragma, alivia el exceso de vacío del inyector, o el exceso de presión de cloro proveniente del rotámetro.

El inyector es la parte terminal del equipo, aquí se forma la solución de cloro y se produce el vacío necesario para operar el aparato; si el suministro de agua deja de pasar a través del inyector, no se producirá el vacío y no se dosifica cloro. La selección adecuada del inyector, está determinada por la presión al punto de aplicación, la capacidad del clorador y el gasto y presión del agua de suministro de que se disponga. Ver figura No. - (21) 21.

En la operación del clorador, el gas entra a través de la válvula reductora de presión, la cual regula el gas a un vacío fijo de referencia y sólo abre bajo las condiciones normales de vacío. Esta válvula también regula el vacío antes de la válvula de

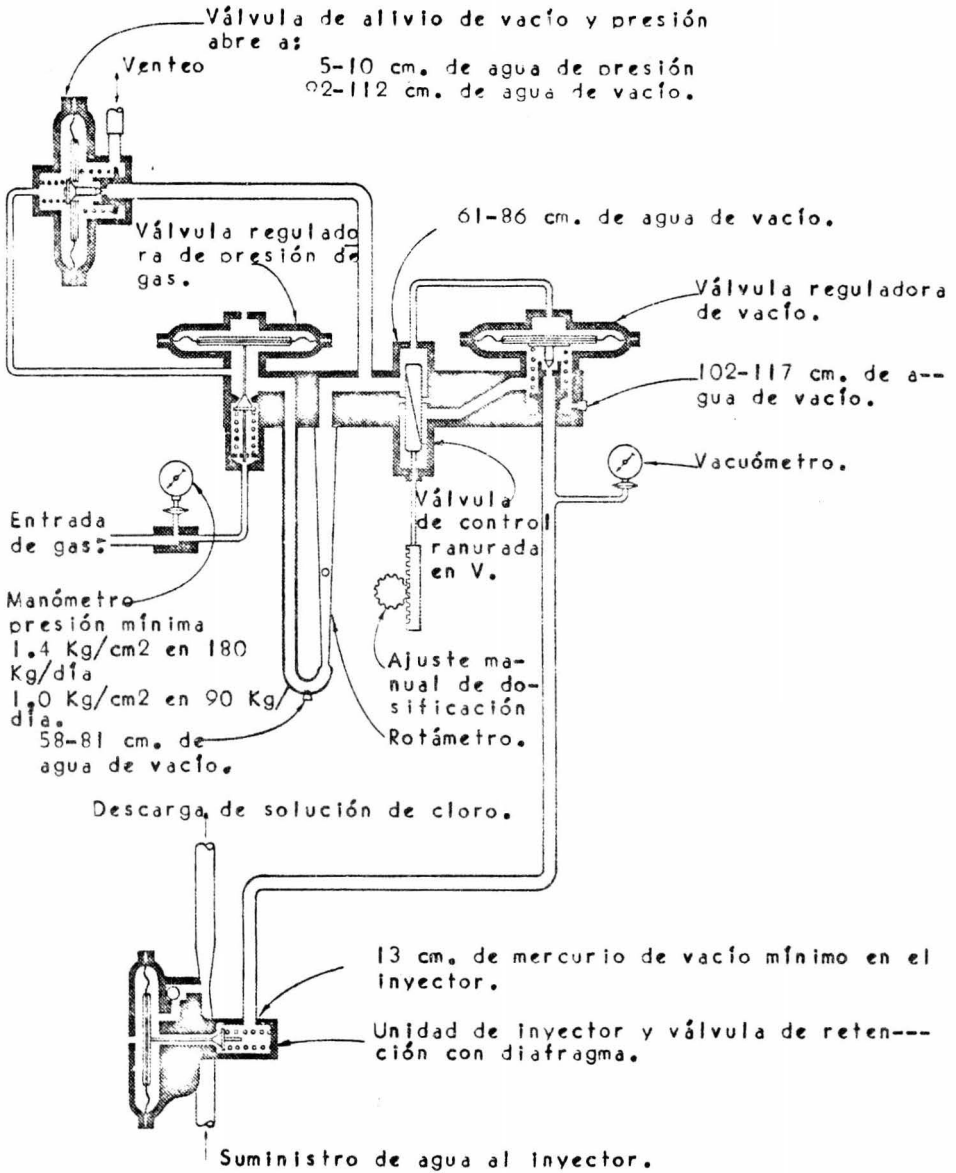
control y cierra el gas si hay cualquier interrupción del suministro de agua al inyector. El gas pasa luego por el rotámetro y la válvula de control, aquí la dosificación puede ser cambiada manual ó automáticamente, después fluye a través de una válvula reguladora de vacío, la cual mantiene un diferencial constante a través de la de control. El cloro por último va al inyector, aquí se mezcla con el agua y se manda al punto de aplicación. Este inyector lleva interconstruido una válvula de retención tipo bola, la cual evita que el agua entre al clorador.

El clorador tipo solución al vacío, tiene dos formas de recibir señales de control de dosificación de cloro; una es variando la presión diferencial a través de la válvula de control, es decir que si se cambia la caída de presión en el orificio que deja el vástago y asiento de la válvula, se varía la dosificación, esta operación se efectúa por medio de alimentación de aire atmosférico, controlado por una señal de vacío, a la válvula reguladora de vacío integral en el clorador. Ver figura No. 22.⁽²⁴⁾

La otra forma de que reciba señal de control el clorador, es variando la posición de la válvula de control, lo cual se efectúa por medio de un operador sobre la válvula, hay diversos tipos de operadores dependiendo de la señal de control que reciban; estas son: neumáticas, eléctricas y electrónicas.

El clorador recibe señales de control en cualquiera de sus dos formas de recepción o ambas a la vez.

Materiales de construcción.- Los materiales de construcción se seleccionan de acuerdo al tipo de función que vaya a desempeñar cierta parte del equipo, así como para que fluya por él tanto cloro seco como húmedo. Para solución de cloro ó cloro húmedo a presión inferior a la atmosférica, se selecciona principalmente PVC, empaques ó anillos de Viton e Hypalon, partes metálicas expuestas-



(24)

Figura No. 21.- Diagrama de flujo del clorador tipo de solución al vacío de operación manual.

a cloro gaseoso seco se utiliza cobre, acero inoxidable recubierto de plástico, Hastelloy C y Tántalo, en el rotámetro y en las bolas de retención de válvulas se utiliza borosilicato.

B.- Clorador tipo gas directo.- El clorador consiste de las siguientes partes:

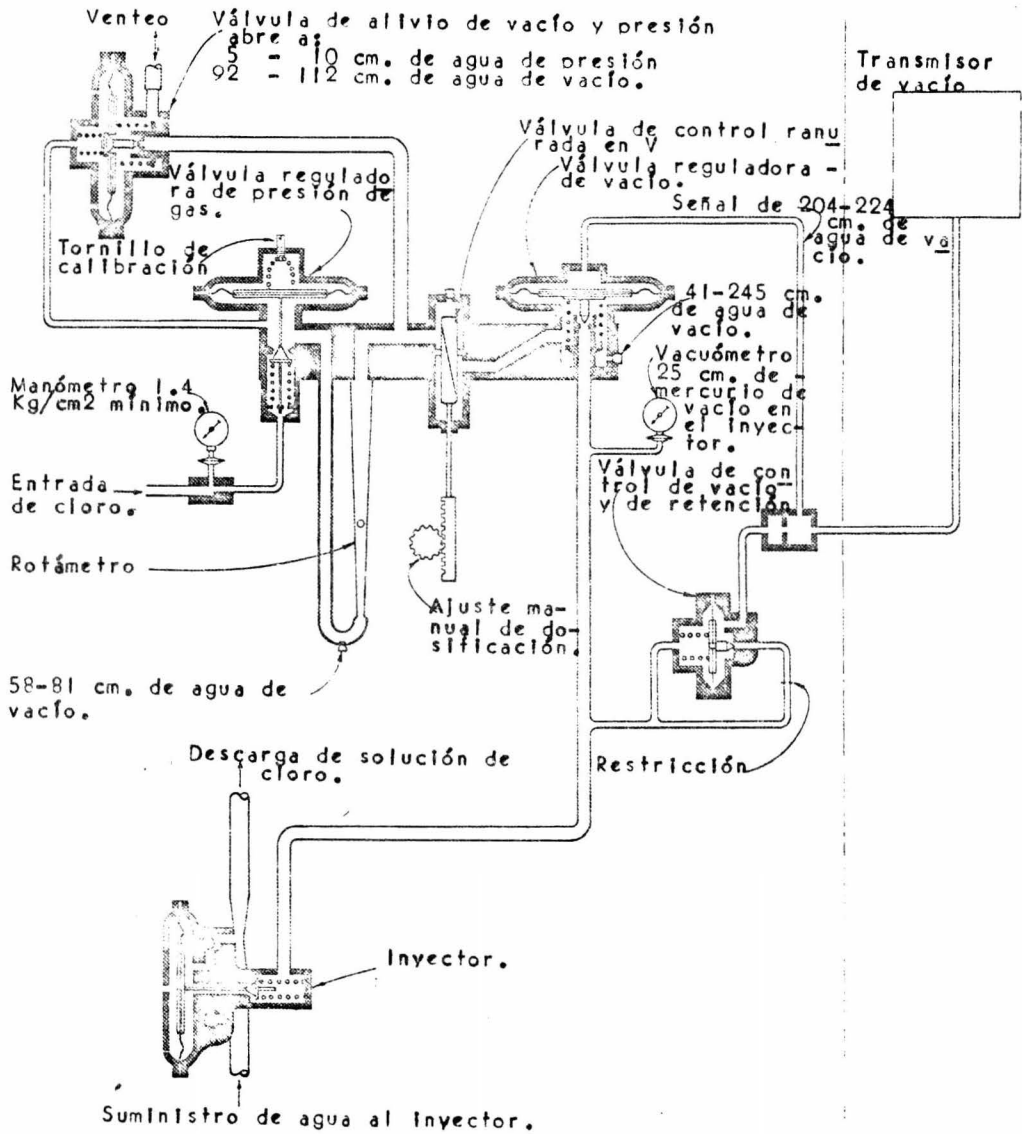
Un regulador de presión diferencial y válvula de control, cuya función es reducir la presión de gas antes de que sea medido, mantener la dosificación, sin que afecte los cambios de presión -- del cilindro de cloro y tener una caída de presión constante en la válvula de control.

Una unidad de protección contra inundación, la cual previene contra posibles daños el aparato y consiste de una válvula de cierre operada manualmente, una válvula que evita sifón y también sirve como de retención, un mecanismo contra inundación el cual consiste de un tubo de vidrio lleno con un material que absorbe el -- cloro en ausencia de humedad, sin embargo, si agua ó humedad entra a ésta sustancia, el cloro absorbido ejerce una presión sobre la humedad y la expulsa hacia la fuente de donde vino; éste material se regenera durante la operación normal del clorador.

Un medidor que consiste de un orificio y un manómetro diferencial, cuyas ramas de alta y baja presión están colocadas respectivamente en las tomas del orificio, éste manómetro indica el gasto que está pasando de cloro. Ver figura No. 23. ⁽²⁴⁾

Operación.- La dosificación de cloro se controla primeramente al fluir a través de la válvula de control y su presión es reducida en el regulador, posteriormente se indica al pasar por el medidor, luego por una válvula manual, un dispositivo contra inundación, la válvula que evita sifón, la línea de descarga y por último a través el difusor en el punto de aplicación.

Los cloradores de gas directo, no están diseñados para reci--



(24)

Figura No. 22.- Diagrama de flujo del clorador tipo solución al vacío de operación automática por vacío variable.

bir señales de control, y por lo cual su tipo de operación siempre es manual.

Materiales de construcción.- Para el equipo de dosificación de cloro gaseoso directo, en el que normalmente se maneja el gas seco, son: cobre, acero inoxidable recubierto de plástico, Hastelloy C, y borosilicato, y en las partes donde hay cloro húmedo tales como la válvula que evita sifón, línea de descarga y difusores en el punto de aplicación los materiales son: PVC, plata y piedra porosa.

C.- Hipoclorador.- La dosificación de solución de hipoclorito se hace por medio de varios métodos utilizando bombas dosificadoras (hipocloradores), inyectores y bombas de transferencia. La dosificación puede ser manual, programada ó automática en cualquiera de ellos.

En los sistemas de dosificación pequeña de hipoclorito se usan las bombas dosificadoras, ya que para dosificación alta, su costo es elevado comparado con los otros métodos; ésto se debe a que los materiales de construcción de los cabezales de bombeo son muy costosos, porque deben ser contruidos en aleaciones metálicas muy especiales, tales como el monel; y sólo en cabezales pequeños que son contruidos en plástico, su costo no es tan elevado.

Bombas dosificadoras.- los componentes que forman una bomba de volúmen controlado son: unidad motriz, mecanismo recíproco impulsor, operador para el ajuste del desplazamiento de la flecha y cabezal de bombeo.

La unidad motriz, es un motor que puede ser operado por electricidad, hidráulicamente, neumáticamente o por gasolina. Los motores proporcionan la potencia necesaria para impulsar y mover a los demás dispositivos de la bomba, los motores pueden ser de velocidad constante ó de velocidad variable; esta segunda característica

le permite a la bomba hacer cambios en la dosificación con sólo -- cambiar el número de revoluciones por minuto al motor. Además los motores de velocidad variable con operador, pueden recibir señales de control electrónicas ó neumáticas.

El mecanismo recíproco impulsor, reduce las revoluciones por minuto provenientes del motor y convierte dicho movimiento rotatorio, en un movimiento recíproco que se transmite a la flecha.

El mecanismo que permite hacer el ajuste del desplazamiento de la flecha es un tope ajustable, colocado adecuadamente, cabe -- mencionar que respecto a éste dispositivo cada casa fabricante y -- dependiendo del modelo de bomba, tiene su mecanismo de ajuste ex-- clusivo.

Este mecanismo es de las partes principales del control del -- volúmen desplazado.

También este dispositivo es importante cuando la bomba es par-- te de un circuito de control automático.

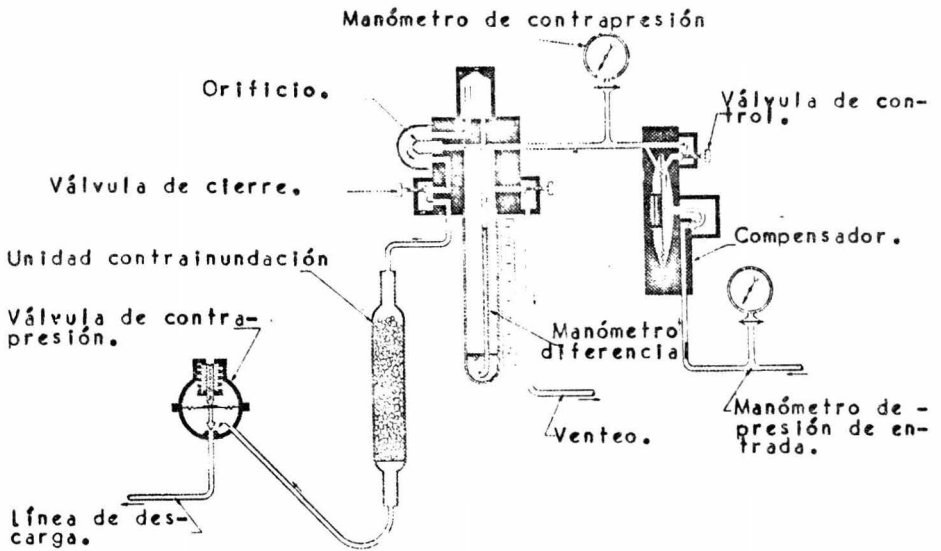
El cabezal de bombeo es la parte que se encuentra en contacto con la solución de hipoclorito, por lo que sus materiales de construcción deberán ser completamente resistentes a dicha solución.

Los hipocloradores tienen cabezales contruídos en plástico -- por lo que se encuentran limitados hasta una presión máxima de des-- carga de 10.5 Kg/cm² y gastos máximos hasta de 750 L/h. El diafrag-- ma es construído en Hypalon, el cabezal de Kralastic ó PVC, asien-- tos de las válvulas de retención de Kralastic ó Lucite, los empa-- ques de Hypalon, y las válvulas de retención de Viton.

La operación típica de una bomba dosificadora manual, operada por un motor eléctrico o de gasolina es como sigue:

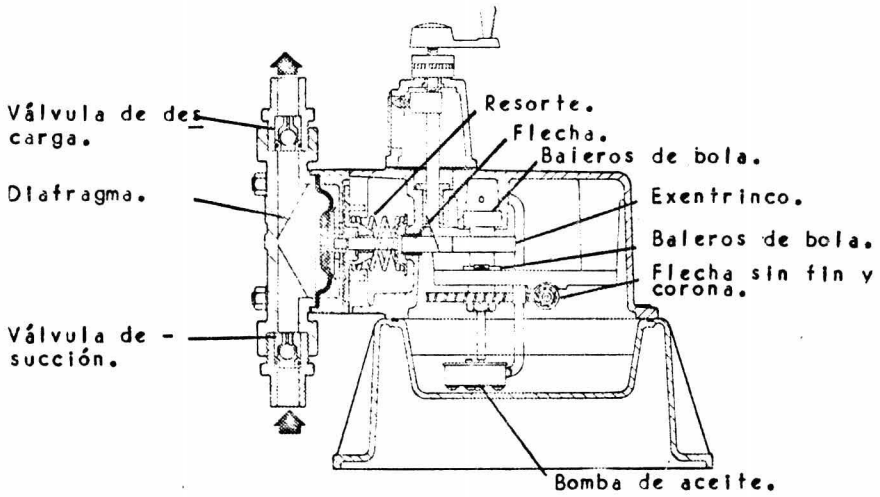
El motor mueve la flecha de entrada, que a su vez mueve a unos engranes para reducir el número de revoluciones, de ahí el mo--

movimiento de rotación pasa a una flecha tipo tornillo, cuyo movimiento se transmite a un engrane y luego a un excéntrico, cuya función es el de cambiar el movimiento de rotación a un movimiento recíproco que pasa a la flecha que mueve el diafragma de bombeo. El cabezal por medio de sus válvulas de retención en la succión y descarga, permite sellar la succión cuando se efectúa la -
(24)
descarga y viceversa. Ver figura No. 24.



(24)

Figura No. 23.- Diagrama de flujo de clorador tipo gas directo.



(24)

Figura No. 24.- Diagrama de flujo de bomba dosificadora de solución de hipoclorito.

CAPITULO III

DIVERSOS SISTEMAS DE CLORACION EN FUNCION DEL
METODO DE CONTROL.

CAPITULO III

DIVERSOS SISTEMAS DE CLORACION EN FUNCION DEL METODO DE CONTROL.

Los controles y accesorios para la determinación de un sistema de cloración, dependen de la variación del gasto de agua y de la demanda de cloro. Los cambios en el gasto de agua, dependen -- del sistema hidráulico donde se va a aplicar el cloro. La demanda de cloro es función de la composición del agua y del tiempo de con tacto.

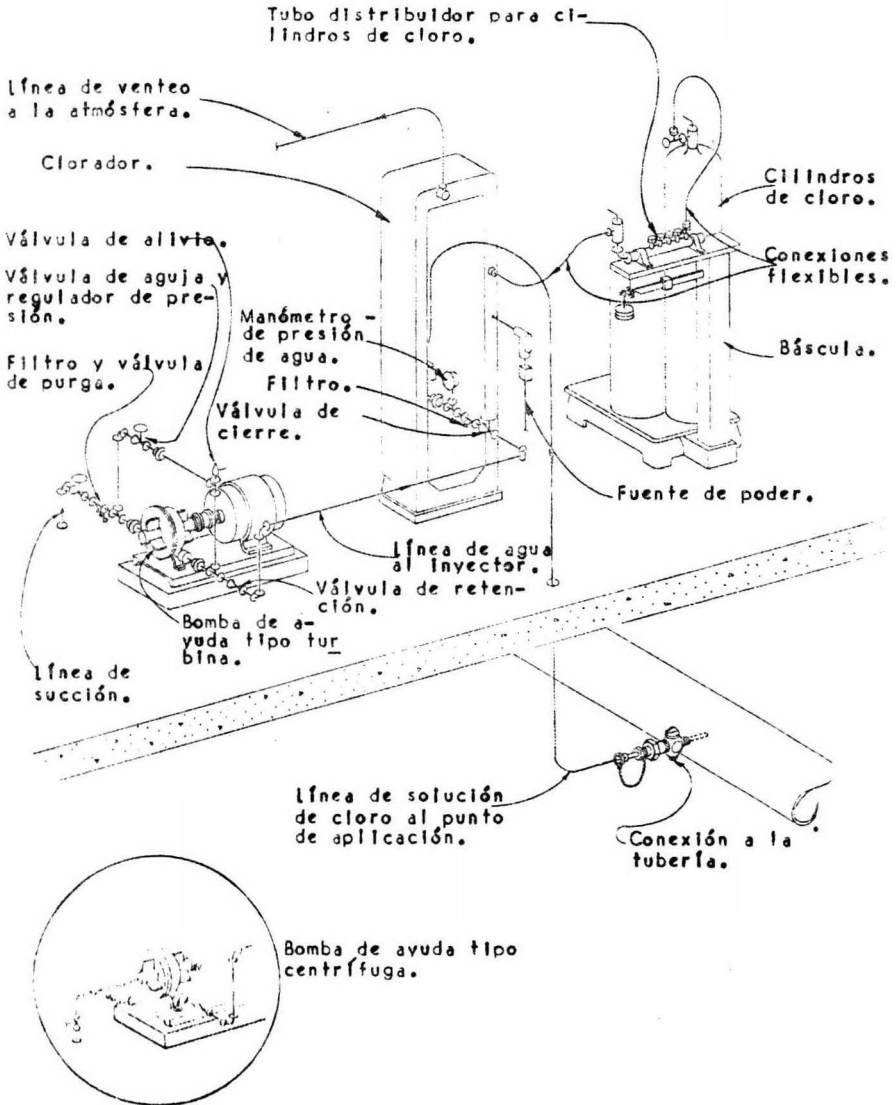
I.- SISTEMA DE CONTROL MANUAL E INTERMITENTE OPERAR Y PARO AUTOMATICAMENTE.

En este caso, las dos variaciones principales permanecen siem pre constantes en un intervalo grande, por lo que la dosificación de cloro puede efectuarse manualmente. Esto quiere decir que se ajusta manualmente la válvula de control de cloro, de acuerdo a un gasto de agua y demanda de cloro constantes y sólo se volverá a cambiar dicha posición, cuando se quiera variar la dosificación ó el gasto de agua haya cambiado a una nueva condición constante. (25)
Ver figura No. 25.

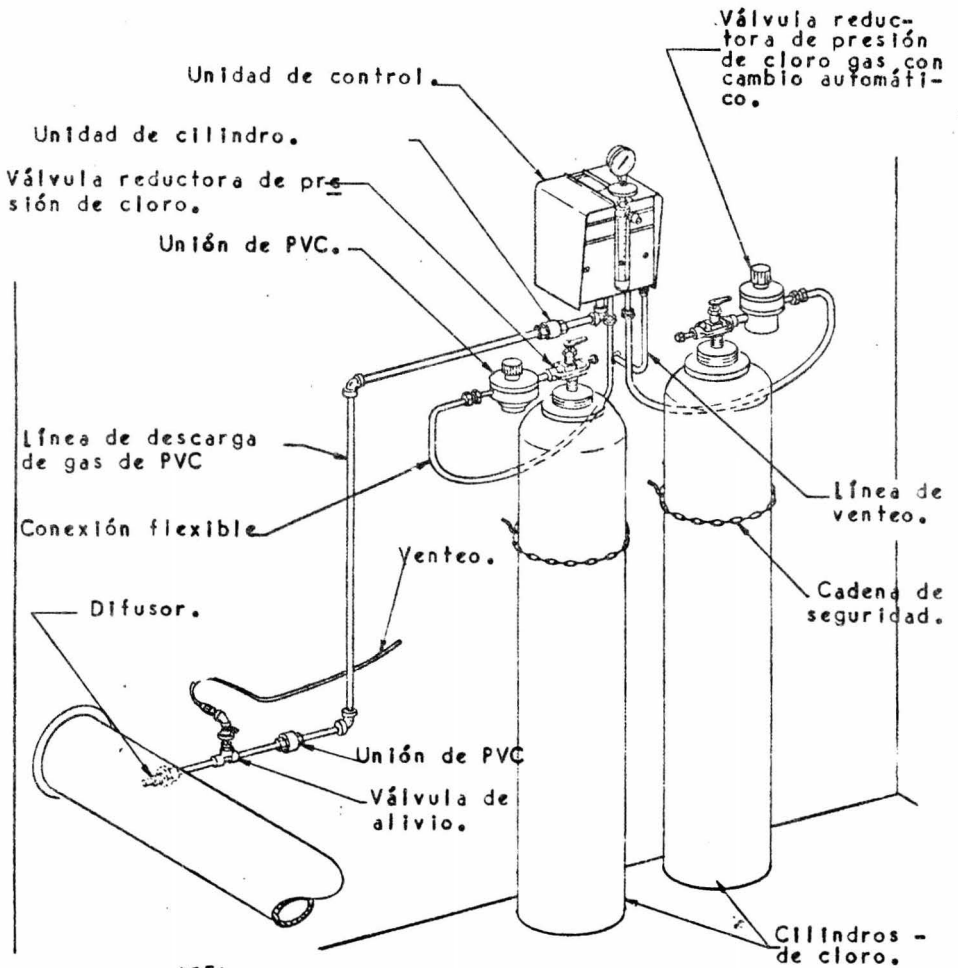
El ajuste de la dosificación, se aplica en sistemas, cuyo con trol sea una válvula, tal como en el clorador tipo solución, de -- gas directo y sistemas de dosificación alta de hipoclorito; pero -- en el caso de bombas dosificadoras el ajuste de la dosificación es por medio del cambio en volúmen desplazado por el diafragma.

Las figuras Nos. 25, 26 y 27, ⁽²⁵⁾ muestran esquemáticamente los -- sistemas de control manual de; clorador tipo solución, clorador de gas directo e hipoclorador, en donde se indican los principales -- accesorios para hacer la operación de dosificación de cloro.

Un dosificador manual de operación intermitente, es adecuado para gastos constantes, pero que son interrumpidos de acuerdo a un



(25)
Figura No. 25.- Diagrama de Instalación típica de clorador manual tipo solución al vacfo.



(25)
Figura No. 26.- Diagrama de instalación típica del clorador de gas directo.

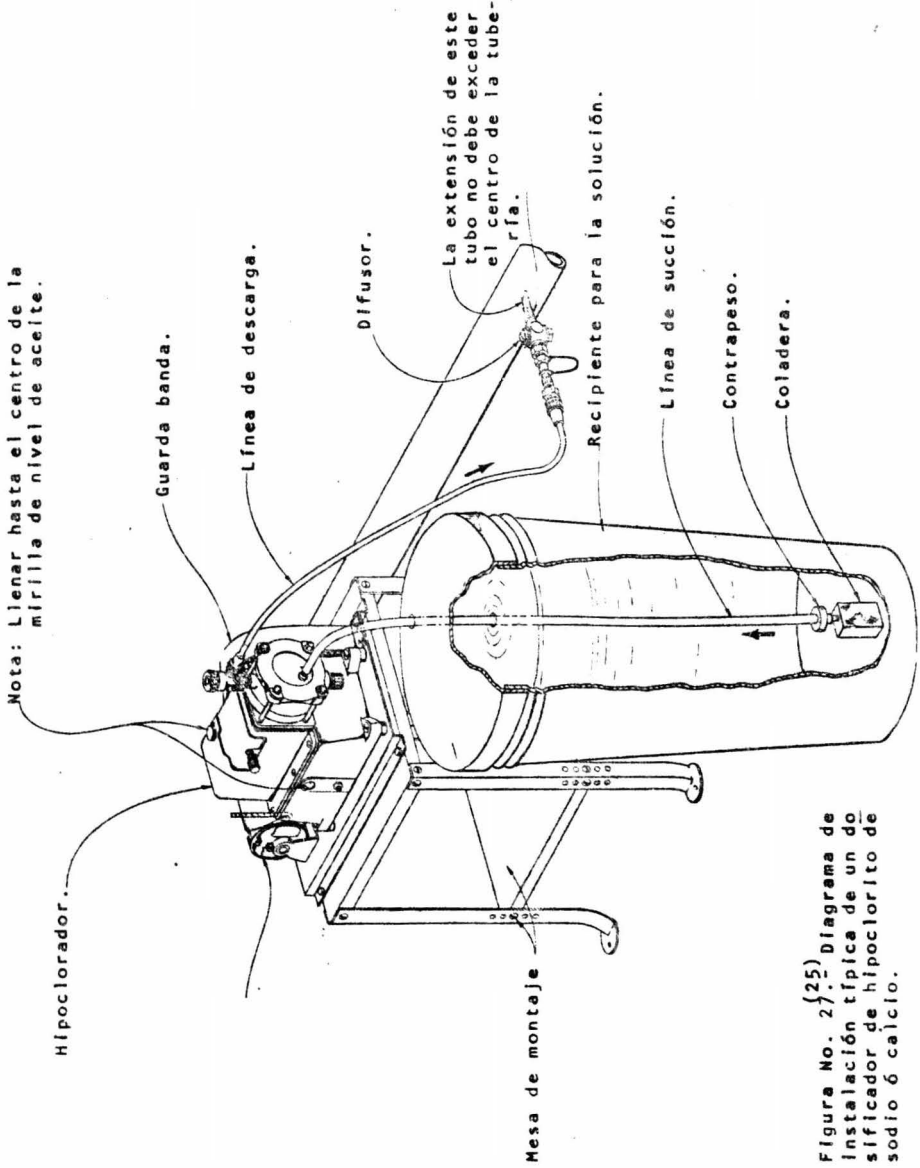


Figura No. 27(25) Diagrama de instalación típica de un dosificador de hipoclorito de sodio 6 calcio.

circuito de control, tal como: un flotador, un Interruptor de presión o reloj programador, el cual opera o para de acuerdo al circuito de control de los interruptores.

En el caso del clorador de solución al vacío, para que opere en forma intermitente, basta con colocar una válvula automática en el suministro de agua, en el clorador tipo gas directo, la válvula se instala en la línea de suministro de cloro; y en el dosificador de hipoclorito el circuito opera el motor.

(29)

La figura No. 28 muestra la operación intermitente de poner en marcha y parar automáticamente un clorador tipo solución al vacío.

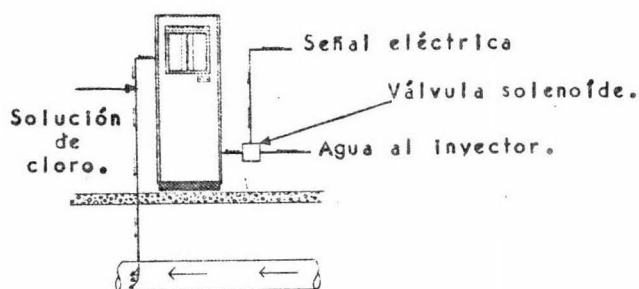


Figura No. 28 (29) Operación Intermitente arranque y paro automático del clorador tipo solución al vacío.

→ Sistemas de dosificación alta de hipoclorito.- Para capacidades bajas de dosificación de hipoclorito, se emplean bombas dosificadoras (hipocloradores) pag. 89 . En el caso de capacidades altas, se emplean bombas de transferencia e inyectores.

Siempre se necesita agua de dilución para dar gastos adecuados en la distribución y difusión en el punto de aplicación.

El sistema de inyector es preferido para cualquier instalación donde la presión en el punto de aplicación no es mayor de 2 a 2.5 Kg/cm² debido a que es más económico y necesita menos mante-

nimiento que una bomba de transferencia.

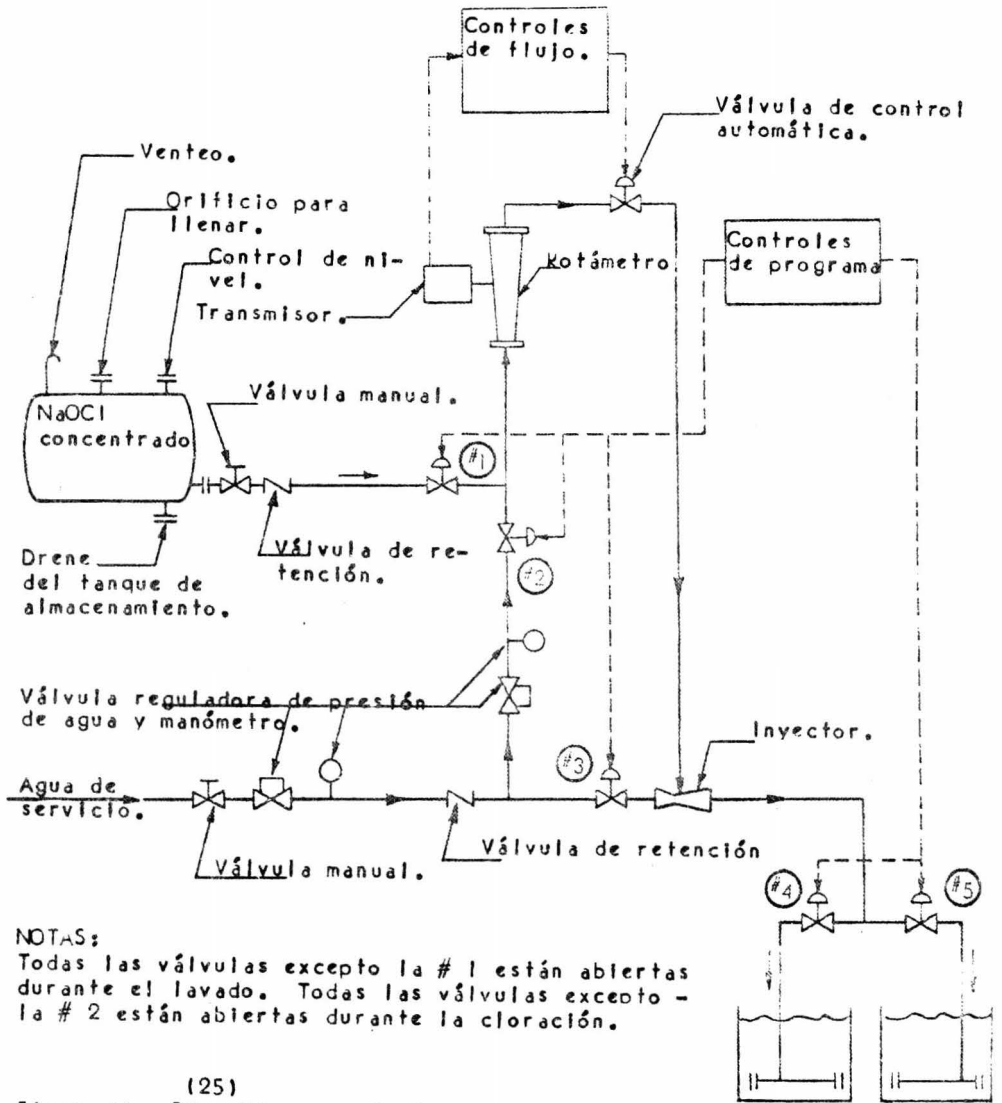
(La operación de un sistema de dosificación alta de hipoclorito) utilizando inyector (se muestra en la figura No. 29 y es como --⁽²⁵⁾ sigue: _{L 30}

(La solución de hipoclorito concentrada y almacenada, pasa primero por una válvula de operación manual, luego por una válvula de retención y posteriormente por una válvula automática operada por un control de programa. El control de programa, permite cerrar la válvula automática cuando se efectúa un lavado en el sistema. La solución de hipoclorito pasa por un medidor de gasto el cual tiene un transmisor que envía una señal proporcional a un controlador, - el cual compara la señal de medida con el punto de ajuste a que se desea mantener, y manda su corrección de error a una válvula para que abra ó cierre proporcionalmente. El hipoclorito es succionado por el vacío que se produce en el inyector por medio del agua de - servicio y operación, en donde la solución de hipoclorito es homogeneizada y diluida. El agua de operación y servicio pasa por una válvula manual y posteriormente, por una válvula reguladora de presión de agua, una válvula de retención, y luego al sistema del inyector. Parte de gasto de agua de servicio, va al sistema de lavado de los equipos que tocó el hipoclorito. Durante el lavado la - válvula número 1, está cerrada y las demás abiertas, durante la - cloración la válvula número 2 está cerrada y las demás abiertas.

Las bombas de transferencia sólo se utilizan en donde el inyector no puede emplearse debido a las condiciones hidráulicas de presión alta en el punto de aplicación.

El sistema es semejante al del inyector, la figura No. 30, ⁽²⁵⁾ ilustra la operación.)

La figura No. 31 que se muestra, se recomienda para ajuste ma ⁽²⁵⁾

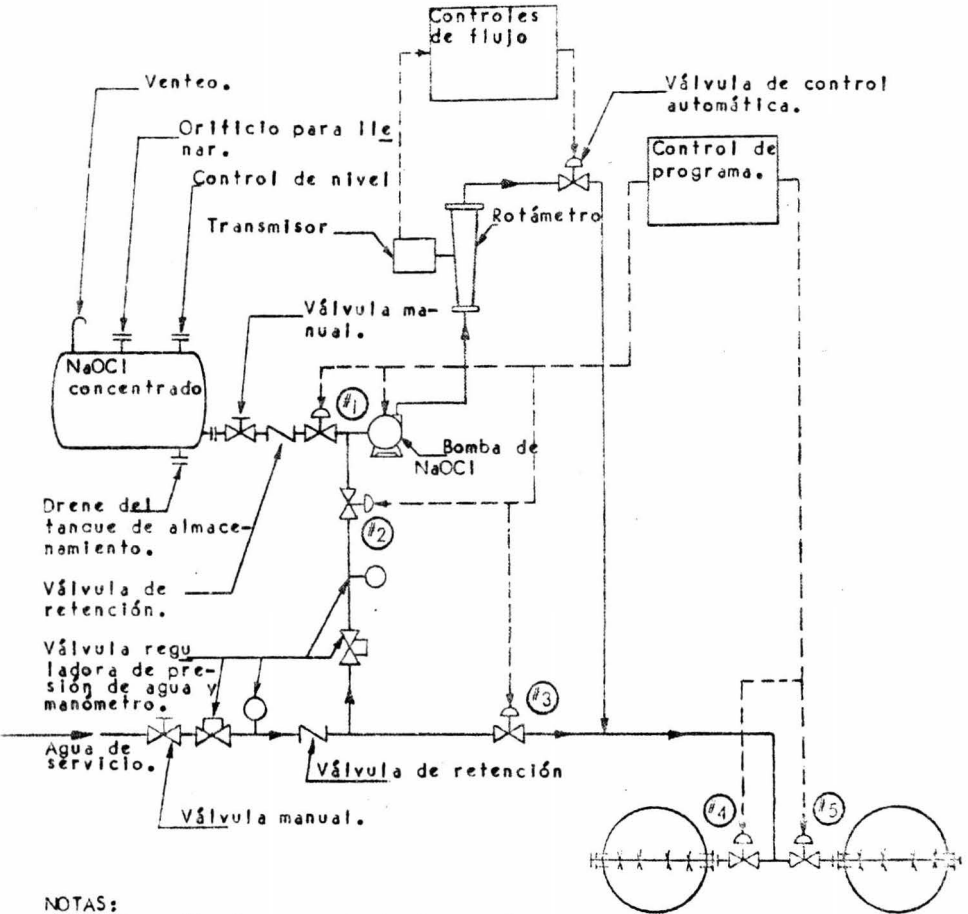


NOTAS:

Todas las válvulas excepto la # 1 están abiertas durante el lavado. Todas las válvulas excepto - la # 2 están abiertas durante la cloración.

(25)

Figura No. 29.- Diagrama de flujo de sistema de dosificación alta de hipoclorito usando inyector.

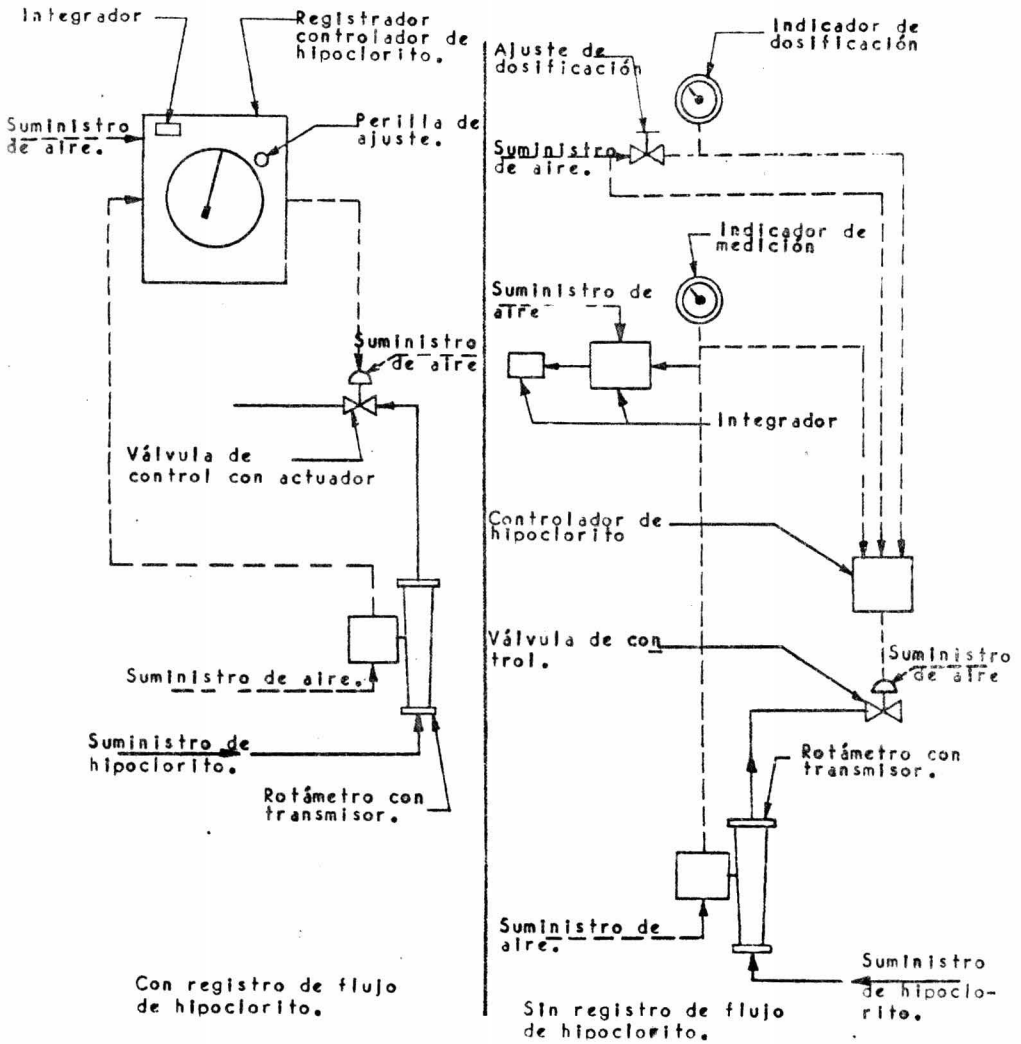


NOTAS:
Todas las válvulas excepto la # 1 están abiertas durante el lavado. Todas las válvulas excepto la # 2 están abiertas durante la cloración.

(25)

Figura No. 30.- Diagrama de flujo de dosificación alta de hipoclorito utilizando bomba de transferencia.

Operación en sistemas de control de hipoclorito.



(25)

Figura No. 31.- Diagrama de flujo mostrando circuito de control cerrado manual de sistema de dosificación alta de hipoclorito.

nual indica un circuito de control cerrado. Una vez que la dosificación se ajusta, se mantiene constante en cualquier ciclo de cloración, siendo afectada por cambios hidráulicos, tales como caída de presión por disminución de nivel en el tanque de hipoclorito, - bolsas de aire en el sistema, variaciones en la presión en el punto de aplicación, o variaciones en la presión en el agua de servicio. El sistema automático de la dosificación, permite control remoto.

Un sistema de control manual sencillo y menos costoso en versión inicial es un simple rotámetro y una válvula de control operada manualmente.

Componentes del sistema de dosificación alta de hipoclorito.

1.- Tanque de almacenajes

Acero recubierto de Hypalon.

Fibra de vidrio reforzado en plástico polietileno.

Polietileno.

2.- Tuberías

Fierro recubierto de hule.

PVC.

3.- Difusores.

Fierro recubierto de hule.

PVC.

4.- Válvulas

Control de dosificación, tipo de bola construidas en PVC (manuales ó automáticas).

De dos posiciones.- tipo de diafragma, cuerpo de fierro recubierto de Saran y diafragma de Hypalon.

De retención.- Fierro recubierto de Saran.

5.- Inyectores:

PVC.

Fierro recubierto de hule.

6.- Bombas de Transferencias:

Centrífugas.- De polipropileno, PVC ó otros materiales resistentes a la acción corrosiva del hipoclorito.

7.- Medidores de gasto.

Rotámetros con tubo de PVC y flotador de PVC con anillo medidor de tantalio (con transmisor neumático ó electrónico si se necesita).

(2.- SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACION POR PASOS.

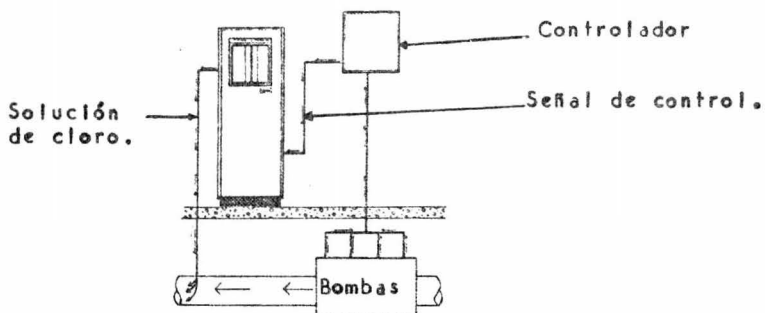
Este método de control consiste en dar una dosificación constante de cloro para cada diversos gastos que se proporcionan a una red de distribución de agua; siendo éstos gastos constantes para cada paso, pero con gastos diferentes o iguales uno de otro; tal como el gasto conocido de varias bombas colocadas en paralelo, y a determinado momento arranca o para una o varias, y las mismas -- bombas pueden tener capacidades diferentes, no estando programadas o relacionadas con el tiempo, sino por la demanda de agua que necesita la red en determinados momentos.)

En el control de dosificación por pasos, el clorador puede recibir señales eléctricas, neumáticas o de vacío y la manera como opera es la siguientes:

(Señales de control para dar pasos aditivos de dosificación.- El control tiene de 2 a 8 potenciómetros ajustables manualmente y relevadores asociados; una combinación de potenciómetro relevador se asigna a cada bomba, el potenciómetro se ajusta para producir una señal de milivolts de corriente alterna, proporcional al gasto de una bomba particular, cuando el relevador es accionado por el circuito de control de las bombas. Las señales son aditivas, cual

quier combinación de bombas resulta en una dosificación de cloro, - que es igual a la suma de señales de las bombas individuales. Ver figura No. 32. (29)

En el controlador eléctrico del operador de la válvula, continuamente se compara la señal de voltaje de entrada con un voltaje de retroalimentación, cuyo valor está fijado por la posición de la válvula, cualquier diferencia entre las señales es convertida en una señal de error, la cual es amplificada por un servoamplificador, la salida del amplificador opera un motor reversible hasta que el voltaje de retroalimentación se iguala a la señal de voltaje de entrada. El resultado neto es una posición de equilibrio de la válvula que controla el cloro gaseoso.



(29)

Figura No. 32.- Operación de clorador con señal de gamas aditivas.

El controlador neumático de intervalos de dosificación por pasos trabaja en conjunto con el operador neumático de la válvula que controla el gas, el cual puede trabajar con dos, tres, ó cuatro pasos diferentes de dosificación y convenientemente distribuidos y en cada uno de ellos se obtiene un amplio intervalo de dosificación. - El controlador consiste de una serie de reguladores de presión de -

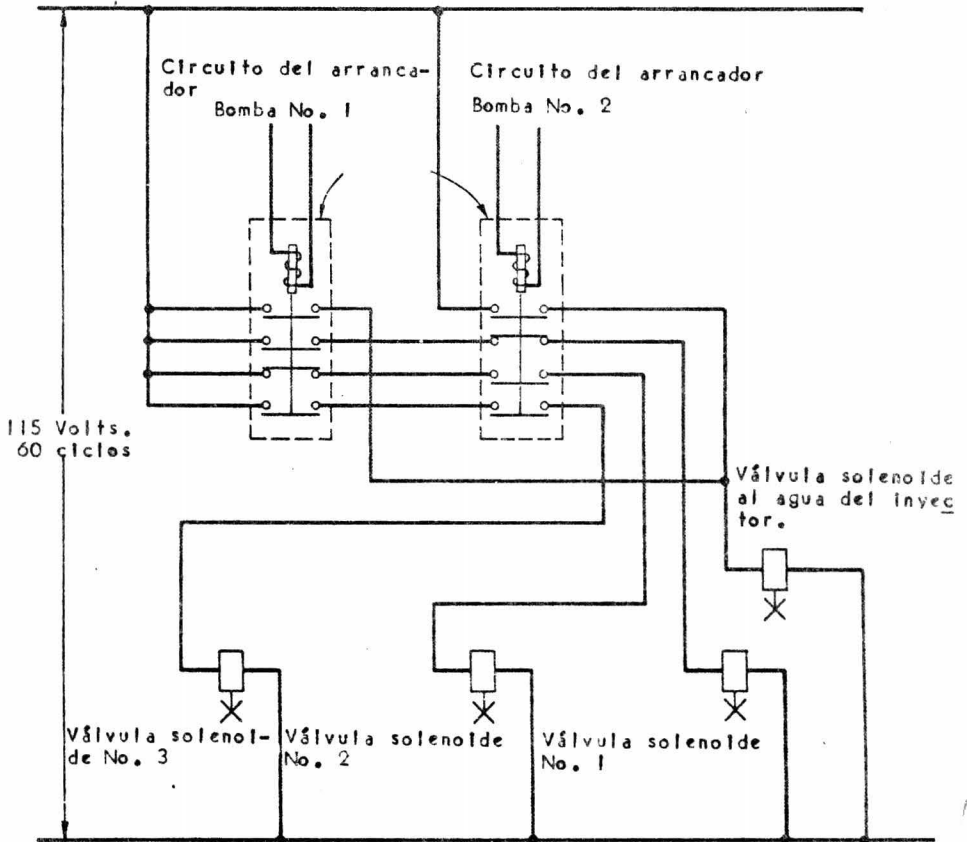
aire, ajustables manualmente, conectados a un múltiple de suministro de aire por válvulas solenoides a una línea de control común - de 0.2 a 1.0 Kg/cm.² Cada regulador de aire se ajusta manualmente a la presión de control necesaria para producir el gasto de cloro, las válvulas solenoides están conectadas eléctricamente por medio de relevadores adecuados al circuito de control, frecuentemente a un controlador automático para múltiples bombas. El circuito de relevadores es alambreado de tal manera que para cada bomba en combinación a una válvula solenoide, esta permita el paso de la señal preajustada de aire en el clorador.

El control por vacío variable a intervalos de dosificación -- por pasos, consiste de válvulas reguladoras de vacío ajustables manualmente y conectadas a válvulas solenoides respectivamente. Una unidad es necesaria para cada paso de dosificación de cloro, las - cuales se distribuyen convenientemente en un múltiple para dar --- cualquier número de diferentes intervalos de dosificación, cada regulador se ajusta manualmente al vacío para dar el gasto de cloro. Las solenoides están conectadas eléctricamente con relevadores adecuados al circuito de control de bombas múltiples, la señal de vacío para cada regulador se envía directamente al sistema de vacío-
(25)
del clorador. Ver figura No. 33

(En el sistema con bombas dosificadoras de hipoclorito, el método de control de dosificación por pasos, se hace con operadores neumáticos ó eléctricos de acción flotante, que funcionan igual a los operadores de los cloradores de solución.)

(3.- SISTEMA DE CONTROL DE DOSIFICACION PROGRAMADA.

Este sistema de control se emplea cuando la cloración es intermitente y programada, el ejemplo para este tipo de tratamiento, es la cloración de aguas para enfriamientos; donde es importante -



OPERACION:

- La válvula solenoide No. 1 controla la dosificación para la - bomba No. 1
- La válvula solenoide No. 2 controla la dosificación para la - bomba No. 2
- La válvula solenoide No. 3 controla la dosificación cuando am - bas bombas están en operación.
- La válvula solenoide al agua del inyector está abierta cuando una u otra ó ambas bombas están en operación.

(25)

Figura No. 33.- Diagrama eléctrico de sistema de control automático por pasos para dos bombas.

clorar con determinada frecuencia y durante cierto período.

La manera de efectuar este control es de las siguientes formas) en el caso de cloradores de solución al vacío:

- a) Interrupción de suministro de agua al inyector con una -- válvula solenoide actuada por un reloj programador. El clorador es de operación manual, poner en marcha y parar automáticamente de acuerdo al programa, en este caso la demanda de cloro es constante.
- b) Con un operador eléctrico de acción flotante, controlado por un analizador de cloro residual, para variar la dosificación de cloro de acuerdo a la demanda, durante el ciclo de cloración, también se tiene una solenoide en el suministro de agua al inyector y un reloj programador. La operación del clorador es automática de acuerdo a la demanda de cloro y programada. Este sistema es útil en --- grandes instalaciones de tratamiento de agua de enfria--- miento, donde la cloración es intermitente y la demanda varía para cada ciclo de cloración (no es la misma demanda de cloro en un ciclo de cloración en el día que durante la noche).

Para los sistemas con bombas dosificadoras, el corte de la operación de éstas es en el motor eléctrico. También pueden llevar operadores eléctricos de acción flotante para el control de cloro residual.

4.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PROPORCIONAL AL GASTO.

Este sistema, efectúa la dosificación de cloro, en forma --- proporcional al gasto, cualquiera que sea la variación de éste. - Como todo circuito de control, necesita de medidor primario, trans misor, controlador y mecanismo final de control.

A).- Medidores primarios de gasto.

a.- Ductos cerrados.

La medición de fluidos en ductos cerrados es una aplicación importante del balance de energía, la mayoría de estos medidores están diseñados para causar una presión diferencial que puede ser medida y relacionada con el gasto. La presión diferencial se produce por cambios en la energía cinética y por rozamiento.

Entre este tipo de medidores se encuentran los siguientes:

Medidor de orificio.- Consiste de una placa plana con un orificio perforado en el centro, la cual se inserta perpendicularmente a la dirección del fluido.

Es de los medidores primarios más económicos y demás uso actualmente, a menos que las características y condiciones del fluido indiquen otro tipo como el más adecuado, deberá usarse de preferencia la placa de orificio; su gran ventaja en comparación con otros medidores primarios, es debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere para su manufactura, su costo es comparativamente bajo, aparte de que es fácilmente reproducible, fácil de instalar y desmontarse y de que se consigue con ella una buena precisión.

Desventajas en el uso de la placa de orificio.

- 1.- Es inadecuada en la medición de fluidos con sólidos en suspensión.
- 2.- No conviene su uso en la medición de vapores que arrastren condensados (En tales casos es necesario perforar la placa en la parte inferior con un taladro.).
- 3.- Produce las mayores caídas de presión en comparación de otros medidores primarios.
- 4.- El comportamiento en su uso con fluidos viscosos es erró-

tico, pues la placa se cálcula a una temperatura y una -- viscosidad dada, si hay cambios en la temperatura, la medición resulta incorrecta.

Selección de las tomas de presión.- Existen cuatro tipos ó -- formas de colocar las tomas de presión y su designación va de a--- cuerdo con su localización.

Tomas de brida.

Tomas de tuberfa.

Tomas de radiales.

Tomas de vena contracta.

Tomas de brida.- Estas están localizadas en las bridas a una pulgada antes y una después de las caras de la placa de orificio. Actualmente es el tipo de toma más usado debido a que puede obtenerse ya maquinada, evitándose con ello, mucho trabajo de manufactura e instalación, vienen provistas de una tornillo que facilita el quitar ó colocar la placa de orificio con fines de mantenimiento.

Existen en el mercado cuatro clases de bridas para orificio, que son las siguientes:

Bridas roscadas.- Que como su nombre lo indica son bridas que se adaptan a la tuberfa por medio de rosca.

Bridas tipo deslizables.- Estas se deslizan alrededor de la tuberfa, procediendo a soldarse después.

Bridas para soldar el cuello.- Llevan un tramo de tuberfa integral que sirve para soldarse al cuello con el resto de la tuberfa.

Tomas de tuberfa.- Están localizadas $2 \frac{1}{2}$ diámetro antes y 8 diámetros después de la placa de orificio.

Tomas radiales.- La toma de alta presión se coloca un diámetro antes de la placa de orificio y la toma de baja presión se lo-

caltza $1/2$ diámetro después.

Tomas de vena contracta.- Este tipo es usado cuando se desea aprovechar la máxima presión diferencial a través del orificio. La distancia a la que se efectúa la máxima contracción de la vena con respecto a la placa de orificio, depende del tamaño de la tubería y de la relación de diámetros entre el orificio y la tubería. La toma de baja presión se sitúa en donde ocurre la contracción de la vena. La de alta presión se hace en un punto determinado por experiencia para obtener la presión estática verdadera.

Tubo Venturi.- Este elemento primario de medición se instala en la tubería, en la misma forma que cualquier otro tipo común y corriente, pero su sección media tiene un diámetro más pequeño llamado garganta. Los diámetros de ambos extremos del tubo de Venturi corresponden al diámetro inferior de la tubería a la cual se conecta.

El cuerpo cilíndrico del tubo entra en un cono de convergencia angular fija. Este cono entra a la sección media que forma la garganta y que tiene un diámetro más pequeño, que ha sido calculado y torneado con precisión. La garganta está conectada a un cono de salida de divergencia angular fija y cuyo diámetro final corresponde al de la tubería.

El cuerpo cilíndrico del tubo Venturi está equipado con conexiones pizométricas en un anillo de presión, para promediar la presión antes de la garganta; a éste anillo se conecta la toma de alta presión del cuerpo medidor. La garganta tiene un diseño similar para efectuar la conexión de baja presión al medidor.

La diferencia de presiones entre el cuerpo cilíndrico y la garganta, produce la diferencial en la cual se basa la medición del gasto.

Los factores que intervienen en la selección del tubo Venturi son los siguientes:

Mínima pérdida de presión permanente.

Necesita poco mantenimiento.

Permite el paso de 1.6 veces más gasto que la placa de orificio bajo las mismas condiciones de operación.

Es más difícil de instalar que la placa.

Es más costoso que la placa de orificio.

Tobera de gasto.- Se puede describir este elemento primario - como un tubo de Venturi, sin cono de salida. La falta de dicho co no aumenta la pérdida de presión permanente.

Los factores que intervienen en su selección son los siguientes:

Mediana pérdida de presión permanente.

Necesita poco mantenimiento.

Permite el paso de 1.6 veces más gasto que la placa de orificio bajo las mismas condiciones de operación.

Se obtiene mayor presión diferencial que en el tubo de Venturi.

Tubo de Pitot.- Es un dispositivo primario de amplio uso donde es incosteable ó impráctico el corte de la tubería para la instalación de otros medidores primarios. Los tubos de Pitot son generalmente de dos formas; primero; de un simple tubo el cual necesita una toma en la tubería, y segundo, un doble tubo necesitando -- dos tomas. Ambos tipos son adecuados para controlar el clorador, - pero el tubo simple es preferido, ya que permite localizar las velocidades promedios del centro de la línea.

Los coeficientes para estos tubos varían de fabricante a fabricante y también del factor que se debe tomar en consideración - en función de la localización de las velocidades promedios. Para-

el control automático del clorador, se debe tener la seguridad que la velocidad media a máximo gasto sea mayor de 1.22 m/seg. Velocidades altas en tuberías de diámetros grandes, por decir 24", puede ser inadecuado el control con tubo de Pitot debido a los efectos de vibración. En general, el Pitot debe ser instalado en tuberías rectas, donde esta sección se extienda 10 diámetros de tubería corriente arriba del tubo de Pitot y 5 diámetros de tubería corriente abajo.

Medidores primarios de gasto cuyo principio no se basa en la presión diferencial.

Medidor de gasto de área variable. En estos medidores la presión diferencial que se produce es constante, para cualquier valor del gasto, y lo que varía respecto a esta propiedad a medir, es la posición de un flotador que viaja a través de un tubo cónico describiendo áreas anulares variables. En este tubo cónico el flotador es soportado por la presión diferencial creada por la restricción anular entre el flotador y el tubo.

Los medidores de área variable se pueden instalar directamente en la tubería, en diámetros no mayores de 2 pulgadas, y también se pueden instalar en derivación respecto a otro medidor primario de gasto que producen una presión diferencial.

Para el control de equipo de cloración, estos medidores de área variable deberán llevar un transmisor tipo neumático ó electrónico. Este medidor como ventaja adicional a los otros medidores descritos es su indicación directa del gasto que pasa, no necesitando receptores o mecanismos adicionales. También la señal que envía el transmisor es proporcionalmente lineal al gasto y no de raíz cuadrada como otros elementos transmisores.

Medidores de fuerza.- La medición del gasto es función de una fuerza, la cual es igual a la presión diferencial por el área don-

de se aplica. Ecuaciones de los medidores tipo presión diferencial se adaptan al medidor de fuerza.

El medidor de fuerza es un diseño nuevo de los medidores que se basan en el principio de balance de fuerzas, el cual incluye la ventaja de los orificios tipo anulares. Elimina la tubería en las tomas de alta y baja presión, debido a que mide la fuerza de desbalance que se produce en el blanco donde pega el fluido.

Sus coeficientes no son predecibles con exactitud como los otros medidores de presión diferencial convencionales. Se utilizan normalmente en la medición de vapores con condensados, líquidos -- con sedimentos, aceites viscosos, etc.

Medidor magnético de gasto.- Su operación está basada en la ley de Faraday del electromagnetismo. Este es el principio del generador de potencia. Establece que cuando el movimiento de un conductor corta líneas de fuerza en un campo magnético, un voltaje es inducido en el conductor. Si las dimensiones del conductor y el campo magnético permanecen constantes, el voltaje inducido es directamente proporcional a la velocidad del conductor. Entonces el fluido debe ser conductor cuando menos con 5 micromohos. El conductor ó sea el líquido corta líneas de fuerza en el campo magnético generado por bobinas interconstruidas en el medidor, y crea un millivoltaje que será proporcional al gasto, éste es detectado por un par de electrodos y comparado con un voltaje opuesto de balance creado por un transformador diferencial, cuya salida varía con la posición de la pluma indicadora.

Este medidor es sumamente preciso, adaptable en cualquier posición en la tubería, no ocupa mayor espacio que el de un tramo de tubería recta, y se instala directamente sobre ella.- Su señal es proporcionalmente lineal al gasto y puede ser neumática de 0.2-1 -

²
kg/cm, de vacío variable, de posición potenciométrica ó de duración de pulsos. La caída de presión a través de él es sólo como el de un tubo de longitud recta igual. Su salida es precisa debido a que sólo responde a la velocidad del líquido. Variables tales como viscosidad, densidad, turbulencias y cantidad de sólidos en suspensión, no afectan la medición.

Así como es el más exacto, fino y versátil de los instrumentos de medición de gasto, es el más costoso, su aplicación se extiende a la medición de fluidos, donde los otros medidores convencionales no pueden ser aplicados.

Medidores tipo helice.- Contiene una helice rotatoria, cuyo movimiento es una función del gasto y puede ser utilizado para el control de un clorador. Pueden ser de tipo simple o compuesto incluyendo una sección de tubería para insertarse en la línea. También puede ser de tipo silla que pueden insertarse en una perforación especial en la parte superior de la línea. Este último no necesita el corte en la línea para la inserción del medidor.

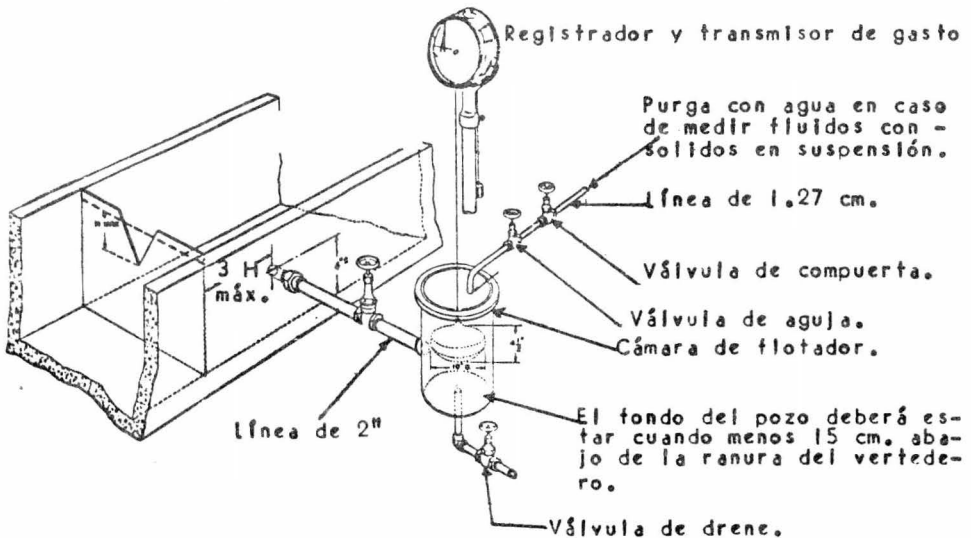
Las partes metálicas rotatorias están en contacto con el fluido y las partes se integran en diferentes maneras en forma que se indique una descarga total. Esta descarga puede ser relacionada con el tiempo en algún intervalo conveniente para determinar el gasto.

b).- Ductos abiertos.- El gasto en canales se mide empleando instrumentos de medición de nivel, para determinar la columna en los medidores primarios, tales como: los vertederos tipo ranura en V, rectangular o tipo trapezoidal o Cippoletti, y el medidor de canal Parshall. El Parshall se usa generalmente donde las pérdidas de presión deben ser mantenidas al mínimo o si el fluido contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión. Cuando las pérdidas--

de presión no son muy importantes y no hay muchos sólidos en suspensión, se usa un vertedero debido a la economía de su instalación. Un vertedero tipo ranura en V, se prefiere cuando se quiere obtener intervalos de medición amplios.

El vertedero es una sección de canal rectangular con una placa transversal, dicha placa puede llevar en la parte superior la ranura en V, rectangular ó trapezoidal (Cippoletti). La toma de la medición de nivel se hace 3 veces de altura de la ranura corriente arriba del gasto, la conexión se puede hacer por medio de un tubo que conecta a un pozo en el cual hay un flotador.

La posición de este flotador es función del gasto. También la medición de este nivel se puede hacer burbujeando aire y la contrapresión pasaría a un transmisor de presión diferencial, la cual también es función del gasto.



(111)
Figura No. 34.- Instalación típica de medidor vertedero de ranura en V.

El medidor de canal Parshall consiste de dos canales, uno convergente y otro divergente a una garganta y ambos se encuentran a diferente nivel. El gasto al pasar por la garganta estrecha, --

causa variaciones de nivel, las cuales son medidas por medio de un pozo y flotador, ó por medio de burbujas de aire.

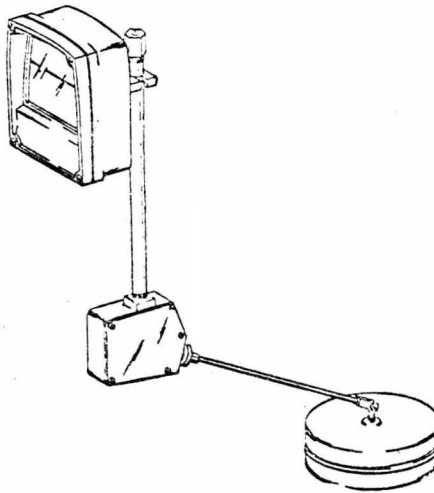
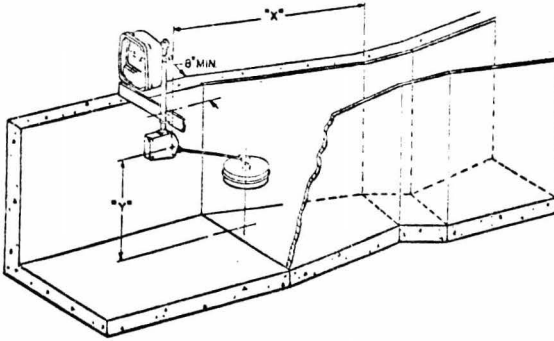
B.-) Medidores secundarios de gasto.

Los medidores secundarios de gasto no son más que los elementos transmisores del circuito de control, que actúa bajo el principio de balance, y la señal de salida comercial que envían es proporcional al gasto que está midiendo el primario, dicha señal puede ser: de vacío variable, neumática, electrónica ó de duración de pulsos, para poder ser recibida por el controlador del equipo de cloración.

Convertidor de presión diferencial a vacío.- El más simple y económico de éstos transmisores, es el convertidor de presión diferencial a vacío, el cual se conecta directamente en las tomas de alta y baja presión, de los medidores primarios de gasto que crean diferenciales.

Opera por el principio de balance de fuerzas. La presión diferencial recibida por el convertidor, regula la señal de vacío por medio de la entrada de aire al controlador de vacío. Un incremento en el gasto tiende a cerrar la entrada de aire, incrementando el vacío en el controlador de vacío variable en el clorador, aumentando por lo tanto la dosificación de cloro. Ver figura No. 36. ⁽²²⁾

Celda de presión diferencial (d/p Cell).- Cuando se quiere tener señales neumáticas normales, y se tiene aire con calidad de instrumentos, una celda de presión diferencial es el transmisor adecuado para el control del sistema de cloración. Además del control del equipo de cloración, se puede utilizar esta señal neumática para la indicación, registro y totalización de gasto de agua, y por otro lado, controlar otros equipos de dosificación en forma proporcional. Su costo es más elevado que el del convertidor de -



(25)

Figura No. 35.- Instalación típica del transmisor indicador en canal Parshall ó estando el flotador directamente en el canal.

presión diferencial, además de que requiere de aire con calidad de instrumentos. La señal 3-15 psi que envía este transmisor puede ir a un convertidor de presión a vacío para controlar el clorador. Ver figura No. 37.⁽²⁴⁾

Se conecta directamente a las tomas de los medidores primarios de gasto tipo de presión diferencial.

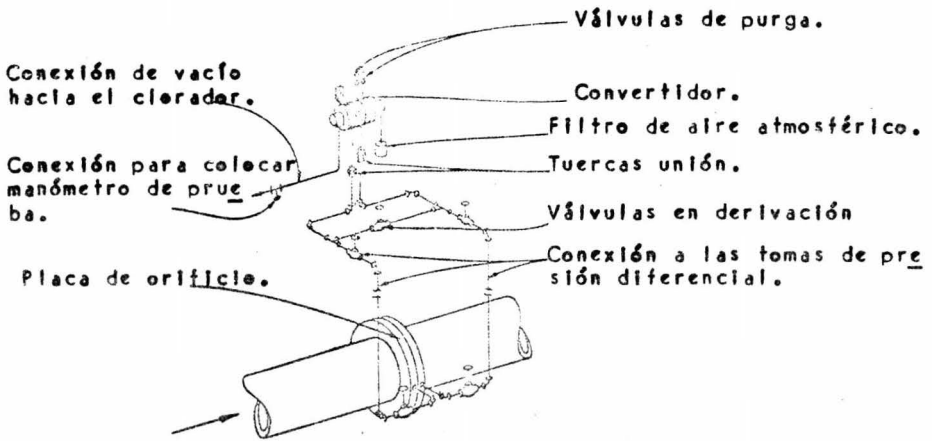
Opera también bajo el principio de balance de fuerza, tiene un movimiento muy poco visible y prácticamente tiene un desplazamiento de cero.

Sus componentes básicos son: el cuerpo, el sistema de balance de fuerza y el block de conexiones de aire que están en unidades separadas.

La alta y baja presión son conectadas a lados opuestos de un diafragma. La presión diferencial resultante ejerce una fuerza sobre el diafragma, la cual es aplicada a la terminal baja de una barra de fuerza. Un diafragma metálico sirve como pivote a la fuerza de barra y a la vez de sello hermético para la cámara de baja presión. La fuerza es transmitida a través de un conector flexible a una varilla que indica la variación de intervalo, la cual pivotea sobre una fuerza ajustable.

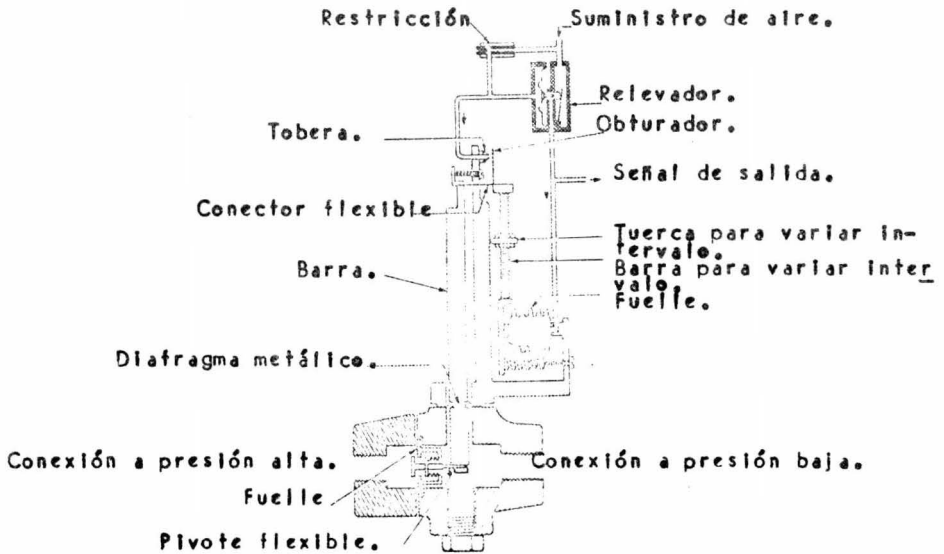
Cualquier movimiento de la varilla causa pequeños cambios en el claro de la tobera-palometa. Este produce un cambio en la presión de salida del relevador a los fuelles de retroalimentación, hasta que la fuerza en los fuelles esté en balance a la fuerza sobre el diafragma.

La presión de salida, la cual está dada por el balance de fuerza, es la señal de transmisión neumática la cual es proporcional a la presión diferencial. Esta señal es transmitida a un receptor neumático.



(22)

Figura No. 36.- Arreglo esquemático del convertidor de presión diferencial hidráulico a vacío.



(24)

Figura No. 37.- Celda de presión diferencial.

Elementos transmisores eléctricos. Cuando no se tiene aire con calidad de Instrumentos o la distancia entre el punto de la medición de gasto y el clorador es muy larga, y por lo que no se puede utilizar señal neumática o de vacío variable, es necesario utilizar transmisores eléctricos, los cuales se pueden clasificar en 4 tipos de señales: señales miliamperométricas, señales potenciométricas, señales de duración de pulsos y señales de frecuencia de pulsos.

Las señales miliamperométricas tienen normalmente 4 arreglos de 0-4, de 1-5, 4-20 y de 10-50 ma. La posición del mecanismo utilizado para convertir la medición del elemento primario, se traduce a una posición de la armadura en un transformador diferencial, la salida de corriente alterna del transformador, que es proporcional al gasto, es convertida a una señal miliamperométrica en un modulador.

El medidor primario, mecánicamente coloca los contactos en un potenciómetro, donde la posición es proporcional al gasto y la señal que se produce es potenciométrica.

El potenciómetro lleva una resistencia inter-construida con intervalo de variación de 1000 a 50,000 ohms.

Las señales de duración de pulsos, son producidas por el cierre de un interruptor para una porción seleccionada de un ciclo fijo, donde la porción de cierre de el ciclo es proporcional al gasto.

Una leva gira a una velocidad predeterminada. El intervalo de tiempo asociado con una revolución completa de la leva está definido como ciclo. La leva controla la operación de un interruptor de manera que el tiempo de cierre durante cada ciclo es proporcional al gasto.

Arreglos normales dan señales de duración de pulsos con ci---

cios operando desde 2 a 60 segundos.

Las señales de frecuencia de pulsos son producidas por un interruptor (cierre y abre), donde los pulsos por unidad de tiempo son proporcionales al gasto.

Los arreglos normales dan frecuencia de pulsos que varían entre 5 y 150 pulsos por minuto a mínimos y máximos gastos.

C.-) Controlador y elemento final de control.

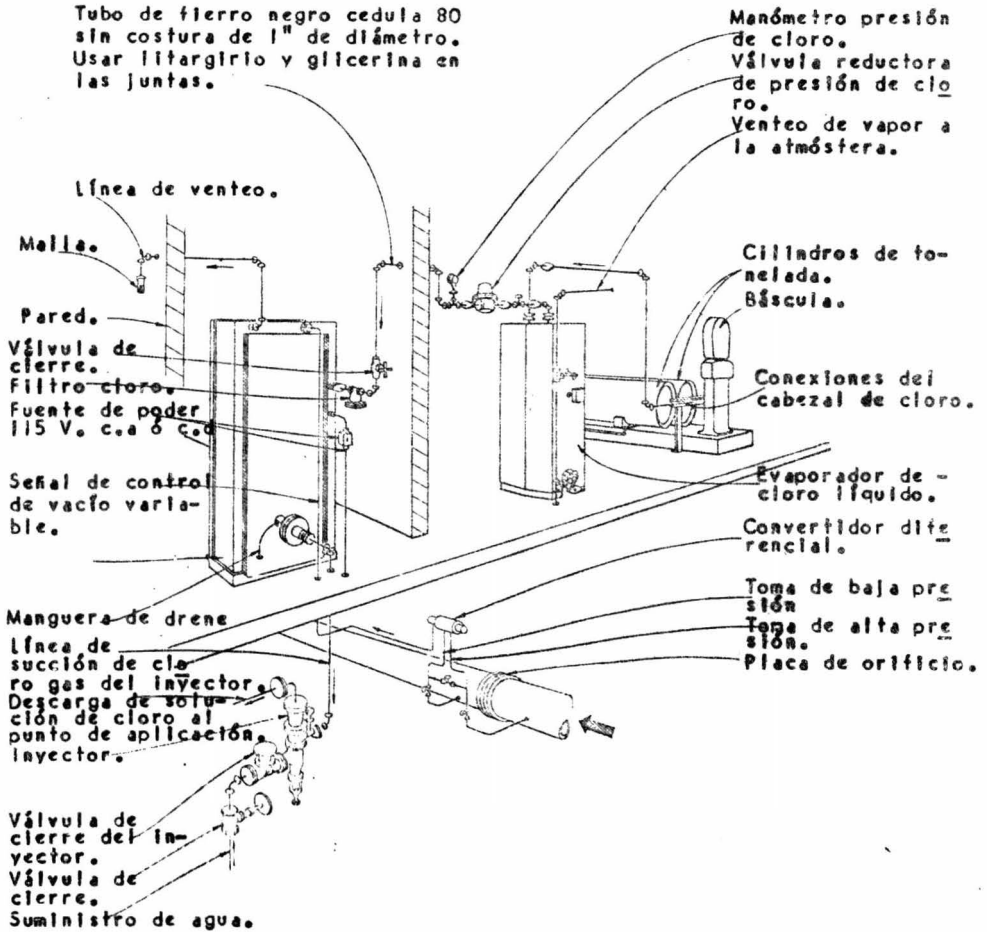
El controlador y elemento final de control es propiamente el dosificador. En el caso de cloradores tipo solución al vacío tiene dos formas de recibir señales de control; variando el vacío o diferencial de presión en la válvula de control y variando la posición de la válvula de control.

Los transmisores de vacío envían señal de 8-88" de agua, la cual se recibe en el clorador, regulando el vacío del inyector y con ello controla la dosificación de cloro, de acuerdo al gasto -- que está midiendo el elemento primario.

En todo circuito de control, en el controlador existe una retroalimentación entre la señal de medición y la posición de mando o ajuste. En el clorador que recibe señal de vacío, este controlador existe en la válvula de control de vacío y de retención, integral en el clorador. Ver figura No. 22

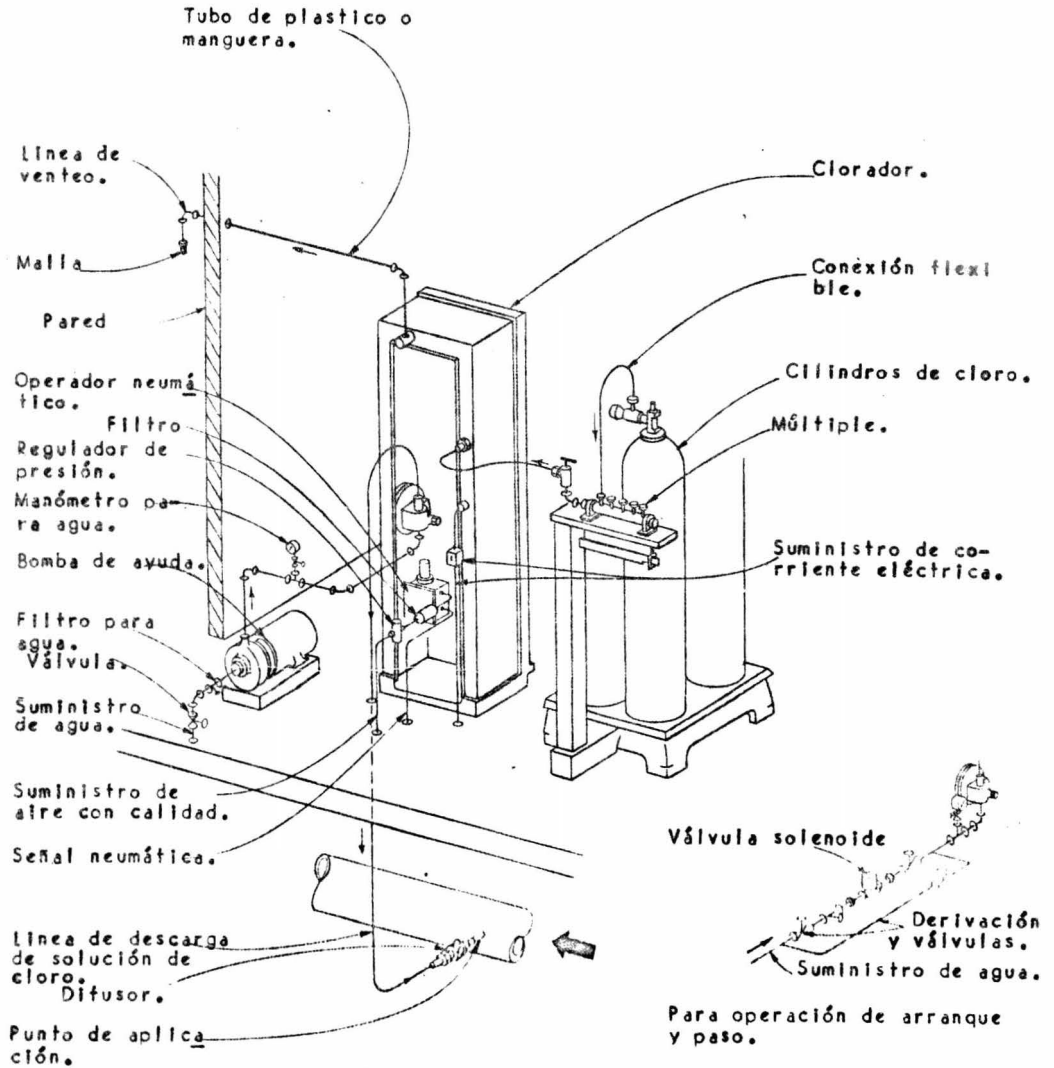
Los cloradores reciben en los controladores con operador señales neumáticas, eléctricas y electrónicas, traduciéndose éstas en variaciones en la posición de la válvula de control.

Los controladores de los cloradores para dosificación proporcional al gasto sólo llevan banda proporcional. Esto quiere decir que de acuerdo al gasto que se está midiendo y a la dosificación que se desea mantener, se ajusta la válvula de control y sobre esta posición ajustada variará la dosificación en proporción a la señal recibida.



(21)

Figura No. 38.- Instalación típica de un sistema de dosificación alta de cloro. Control por vacío variable.



(21)

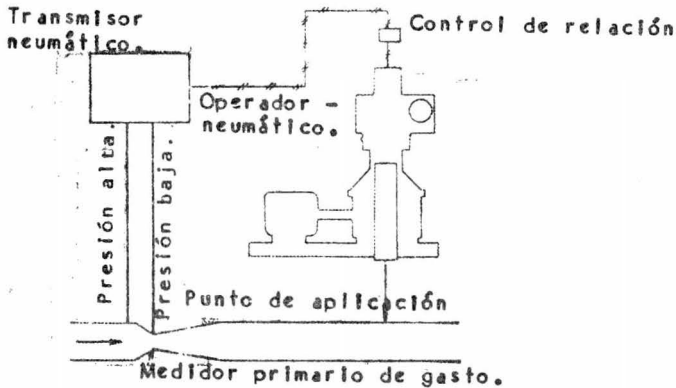
Figura No. 39. Instalación típica de un sistema de cloración con control automático neumático.

Las figuras Nos. 38 y 39 muestran instalaciones típicas de cloradores automáticos en proporción al gasto.

En las bombas dosificadoras de hipoclorito, las señales de control sólo pueden ser: neumáticas, eléctricas y electrónicas.

Las señales son recibidas en operador controladores para variar la carrera volumétrica del diafragma ó en posicionadores controladores de motores con velocidad variable que varían los movimientos por minuto de la fecha que mueve el diafragma. Ver figura

(26)
No. 40.



(26)

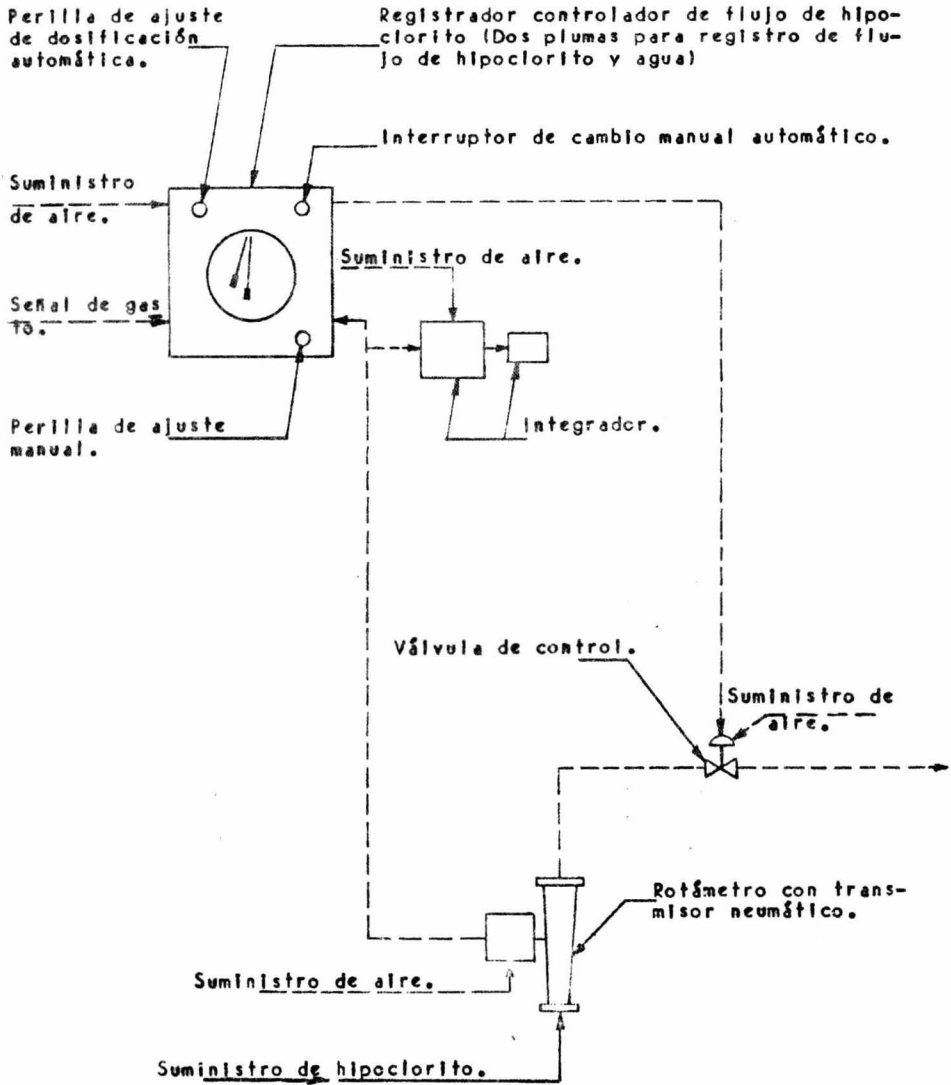
Figura No. 40.- Diagrama de flujo de hipoclorador automático en proporción al gasto señal neumática.

(25)

La figura No. 41 muestra el diafragma de flujo de un sistema de alta dosificación de hipoclorito con señales neumáticas.

5.- SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO CON RELACION AL GASTO Y DEMANDA DE CLORO VARIABLE.

En este caso particular como su nombre lo indica, tanto el gasto de agua a tratar como la demanda de cloro son variables, debido a las características hidráulicas del sistema y a las propiedades oxidoreductoras de las sustancias que se encuentran presentes en el agua. La demanda de cloro es función de los factores -



(25)

Figura No. 41.- Diagrama de flujo de un sistema de dosificación alta de hipoclorito, en proporción al gasto de agua a tratar.

que influyen en la cloración tales como:

Tiempo de contacto.

Concentración de organismos y su naturaleza.

Concentración del agente desinfectante.

Efecto de la temperatura.

Eficiencia del poder desinfectante del HOCl y OCl^- (Influencia del pH).

Efecto de la luz solar.

Como se puede apreciar todos estos factores no son constantes en todas las condiciones, por lo que se hace necesario un control de la dosificación de acuerdo a la demanda de cloro, además de que sea proporcional al gasto.

Una forma elemental de controlar la dosificación de cloro en función de la demanda, es midiendo el cloro residual por métodos colorimétricos y en base a lecturas efectuadas, variar manualmente la válvula de control. Las objeciones a esta forma de control y que la hacen no recomendable son: falta de continuidad en la medición, la imprecisión de la medición por métodos colorimétricos y el control de una operación por una persona es muy pobre comparada con la de un instrumento.

A.- Analizador de cloro residual amperométrico.

Hasta antes de 1958, ⁽²⁷⁾ el cloro residual fué medido por el método de la ortotolidina, que mide el cloro residual total. Hay tres objeciones a este método:

1) Interferencia.

2) Falta de confiabilidad de las cloraminas (cloro residual combinado) como bactericida.

3) No permite tener medidas continuas, para indicación, registro y control.

El método amperométrico es el más confiable para la medición de cualquier cloro residual que se quiera medir, y además de permitir dar señales para indicación, registro y control.

a.- Teoría de operación.- La figura No. 42 muestra el arreglo para la celda amperométrica del analizador. Los electrodos de referencia y de medición son de platino ó oro y cobre montados coaxialmente en forma tal que la muestra de agua fluya continuamente a través de la celda, lo cual da buenos resultados para una gran variedad de tipo de aguas.

La celda produce una pequeña corriente eléctrica directa (0-150 microamperas) proporcional a la cantidad de cloro residual ó yodo libre presente en la muestra. La corriente es medida por un amperímetro, en terminos de ppm de cloro. Para evitar que la celda se ensucie por lama o depósitos químicos, el diseño del aparato permite una recirculación continua de una cantidad de arena abrasiva, que mantiene los electrodos limpios y el equilibrio molecular.

La celda está provista de un factor de temperatura y de pH. Matemáticamente se puede predecir un cambio en la corriente con un cambio en la temperatura para un residual fijo, y puede compensarse este cambio por un ajuste manual, ó bien, automático mediante la instalación de un termistor.

La variación de pH se evita por la adición de una solución reguladora de pH 4, mediante una bomba de desplazamiento positivo. La cantidad de solución reguladora depende de la alcalinidad de la muestra y se ajusta por prueba y error. La figura No. 43 muestra que el cambio de salida

Configuración de la celda coaxial amperométrica.

Flujo de muestra.

Electrodo de medición cilindro de cobre.

Electrodo de referencia alambre de platino.

Fuente de poder externa.

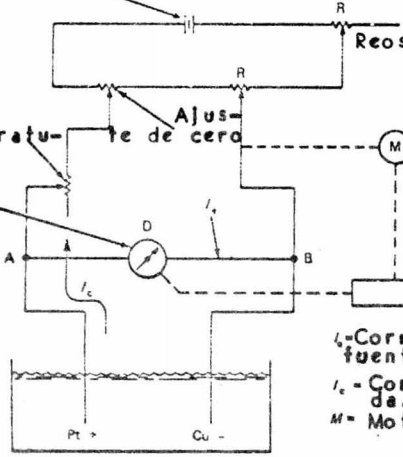
Reostato de ajuste.

Ajuste de temperatura.

Ajuste de cero.

Amperímetro.

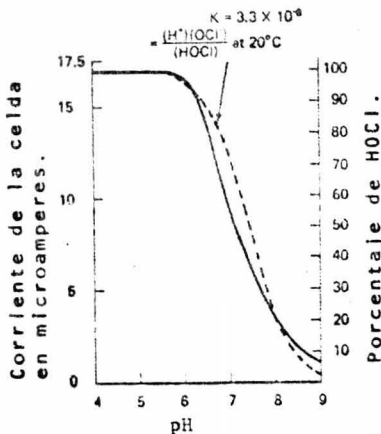
Amplificador.



I_d - Corriente directa de fuente externa.
 I_c - Corriente de la celda.
 M - Motor reversible.

(14)

Figura No. 42.- Detalle de la celda amperométrica del analizador de cloro residual.



(14)

Figura No. 43.- Efecto del pH sobre la corriente de la celda amperométrica.

de corriente debido al pH es constante en la región de pH 4 a 4.5 y por lo tanto es el intervalo óptimo de operación.

La medición de cloro residual libre es directa, sin embargo - la medición de cloro residual combinado, requiere su conversión a yodo libre, lo cual se efectúa cuantitativamente por la adición de yoduro de potasio a la muestra. El cloro residual combinado y el libre, desplazan al yodo del yoduro de potasio, por lo que la medición efectuada en el analizador si se adiciona yoduro de potasio - es de cloro residual total, a menos que se tenga la certeza de no tener cloro residual libre la medición será de cloro residual combinado.

Existen problemas de calibración en la operación intermitente de un analizador, siempre que haya una cercanía entre dos electrodos de un sistema de medición y existan cambios súbitos de cero a "X" cantidad de cloro residual, las superficies moleculares de los electrodos están sometidos a pequeños pero significativos cambios. El tiempo que está ausente el cloro residual en la muestra determina la desviación en la calibración de los electrodos para la siguiente aparición del cloro residual. Tales residuales intermitentes se encuentran en la cloración de circuitos de agua de enfriamiento.

b.- Descripción del analizador de cloro residual.- Hay diversos tipos de analizadores de cloro residual, dependiendo cada uno de ellos, de la clase de agua a tratar, que son: analizador de cloro residual para tratamiento de agua potable, o de proceso, analizador de cloro residual para tratamiento de aguas de desecho y analizador de cloro residual para tratamiento de aguas de enfriamiento.

Analizador de cloro residual para tratamiento de agua potable.

El analizador de cloro residual para tratamiento de agua potable o de proceso mide cloro residual libre o total. La unidad analizadora consiste de un regulador de gasto de muestra tipo diafragma. Una bomba dosificadora electrónica, con un indicador y ajuste de la dosificación de solución reguladora. Dos electrodos, uno de referencia de cobre y uno de medición de platino, estos se encuentran en una celda de lucite claro y para su limpieza son continuamente bombardeados por arena.

Los electrodos producen una corriente eléctrica proporcional al cloro residual en la muestra de agua. La corriente amplificada mueve el puntero del indicador o registrador de cloro residual. -
(20)
Ver figura No. 44.

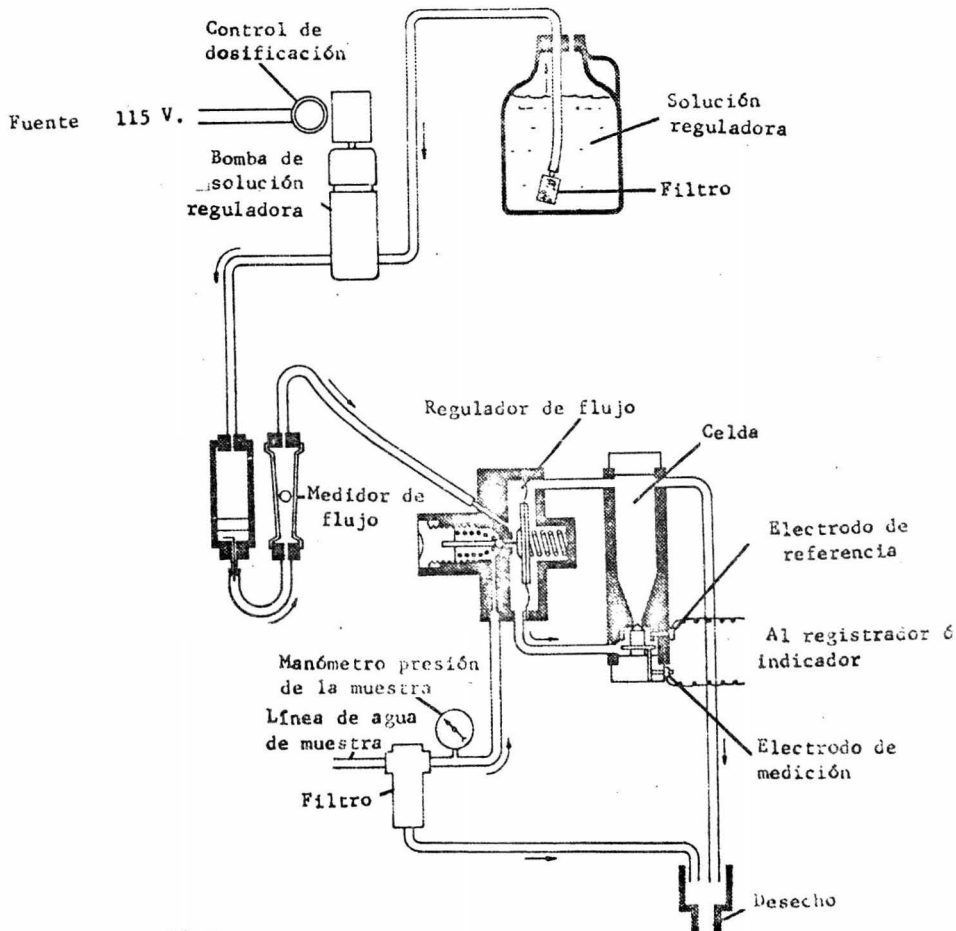
La solución reguladora mantiene un pH constante de 4 y por este procedimiento se mide cloro residual libre. Si se desea medir cloro residual total, deberá agregarse a la solución reguladora tabletas de yoduro de potasio, el cual reacciona con las cloraminas, dando yodo libre y este yodo es el que se mide amperométricamente.

Analizador de cloro residual para agua de desecho.

Analiza continuamente muestras de desecho tratado y su lectura la da en partes por millón de cloro residual total.

Una bomba de desplazamiento positivo tipo de tornillo, lleva la muestra a la unidad analizadora, la cual consiste de un filtro-cuyas partes se lavan con exceso de muestra, dos bombas electrónicas que dosifican solución reguladora, ácido y detergente dentro de la celda.

Una cámara de dilución con nivel constante proporciona un sistema hidráulico estable y un medio para diluir la muestra con agua fresca. La celda analizadora contiene dos electrodos, que se lim-



(20)

Figura No. 44.- Diagrama de flujo del analizador de cloro residual para tratamiento de agua potable.

plan conjuntamente con corrientes de arena y con detergente. Los electrodos producen una corriente E -proporcional a la conc. del Cl residual total.

plan continuamente con bombardeo de arena y con detergente. Los electrodos producen una corriente eléctrica proporcional a la concentración de cloro residual total.

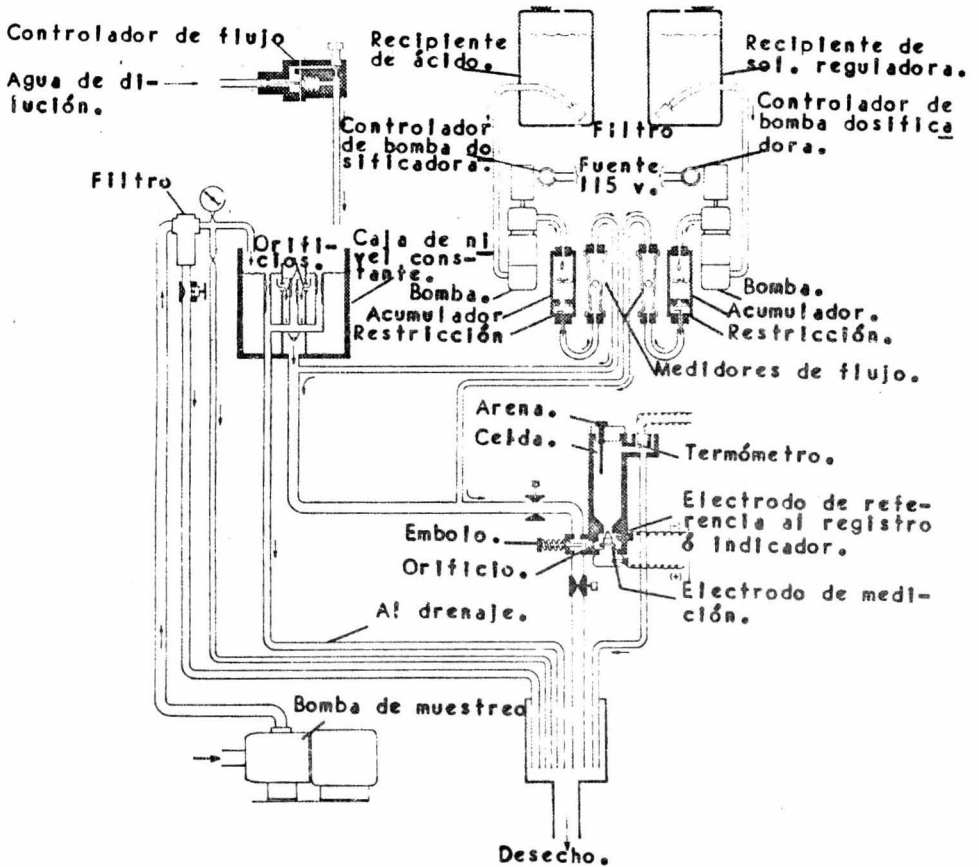
Operación del analizador de cloro residual para agua de desecho.

La bomba de desplazamiento positivo entrega una muestra representativa al filtro, la cual no debe llevar partículas que se rompan y expongan nueva materia orgánica que disminuyan el cloro residual. Una pequeña cantidad del total del gasto de muestra se filtra y el remanente limpia el filtro y sale al drene. Este tipo de limpieza en el filtro evita que las partículas formen una capa de materia orgánica, la cual bajaría el cloro residual que pasa a través de él. La muestra filtrada pasa a una caja de cámaras múltiples que mantienen un nivel constante. En una cámara el nivel de la muestra se mantiene constante por un drene, un orificio en el interior de la pared de esta cámara controla el gasto de la muestra dentro de la cámara media, y agua de dilución controlada y medida va a una tercer cámara.

La muestra es diluida en la cámara media con lo cual se reduce la cantidad de solución reguladora y evita la necesidad de frecuentes limpiezas.

La muestra diluida que sale de la cámara medida, lleva una pequeña pero constante cantidad de solución de ácido fosfórico, dosificado por una bomba electrónica. Una bomba idéntica dosifica yoduro de potasio y solución reguladora, y por último la muestra diluida y tratada con sus reactivos pasa a la celda analizadora.

Esta celda contiene un electrodo de medición de platino y un electrodo de referencia de cobre. La solución reguladora y el ácido mantienen un valor de pH de 4, a este valor de pH las cloraminas oxidan al yoduro pasándolo a yodo el cual es proporcional di--



(20)

Figura No. 45.- Diagrama de flujo del analizador de cloro residual para aguas de desecho.

rectamente al cloro residual total en la muestra. Ver figura No. (20) 45.

Analizador de cloro residual para agua de enfriamiento.

Este analizador fué diseñado exclusivamente para medir cloro residual libre, sin importar las contaminaciones o interferencias de otras sustancias que casi siempre se encuentran en aguas de enfriamiento. Así mide también exclusivamente cloro residual libre aún en la presencia de cloro combinado, y aún en un amplio intervalo de pH (entre 5 y 8.5). No requiere que se le adicione solución reguladora para mantener el pH.

Un filtro tipo "Y" y entradas grandes, previenen que el sistema hidráulico se tape. La celda lleva un electrodo de medición de platino y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata, la cual está separada de la muestra por una solución de cloruro de sodio.

Un termistor compensa cambios de temperatura entre 1 y 49°C.

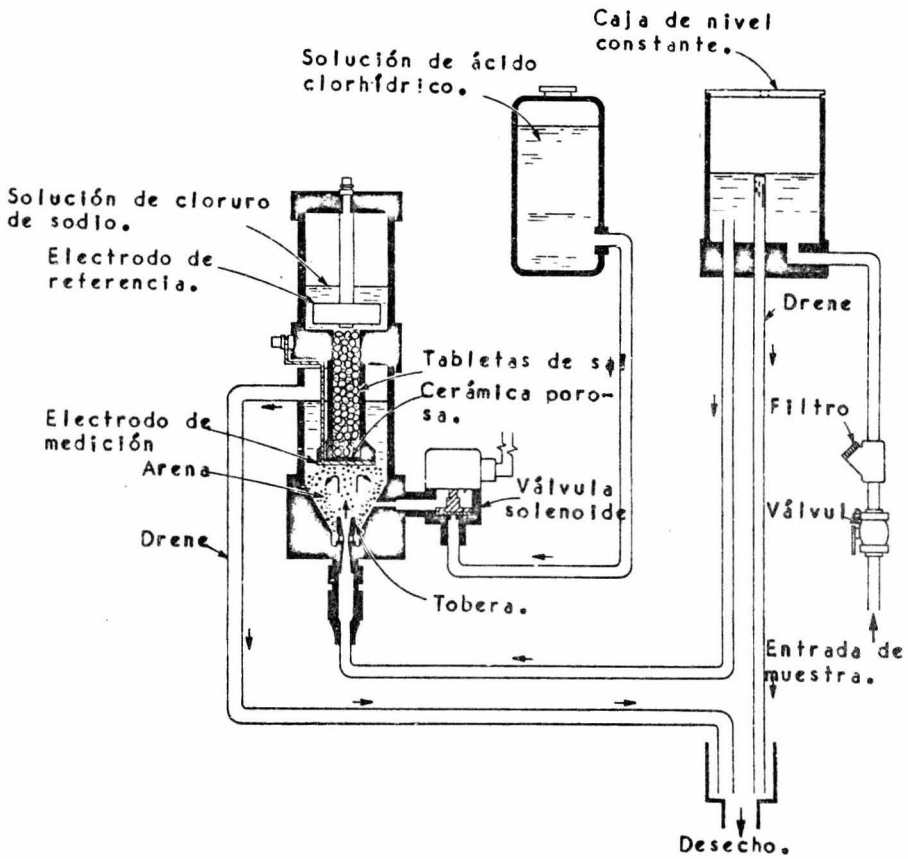
Operación (Ver figura No. 46). Una muestra representativa pasa por una válvula de bola y por un filtro tipo Y. Esta va a un tanque de nivel constante donde un tubo ajustable sumergido diverge una parte de la muestra a la celda y otra al drené.

El gasto de muestra va al fondo de la celda y luego pasa a través de una tobera; arena llevada a una velocidad creada por la tobera, continuamente quita la suciedad del electrodo de medición. El exceso de gasto de muestra va al drené pero no llevando arena.

Un sistema de limpieza, contiene un reloj programador y una válvula solenoide que opera automáticamente, dando una pequeña cantidad de ácido que entra al gasto de muestra en cada ciclo de cloración. El ácido quita el limo y componentes de fierro.

Indicadores y registradores de cloro residual.

La fuerza electromotriz creada por el par de electrodos en -



(20)

Figura No. 46.- Diagrama de flujo del analizador de cloro residual para aguas de enfriamiento.

la celda, deberá ser amplificada y llevada con los mecanismos adecuados al puntero del indicador y registrador. Además debe tener compensaciones por temperatura, por ajustes de cero, y por ajustes en el cambio de amplitud de intervalo.

La descripción que se da a continuación es para un registrador, sin embargo, se puede aplicar al indicador, sustituyendo las palabras pluma por puntero y carta por escala.

El registrador es un microamperímetro de precisión electrónico con una amplitud de intervalo ajustable. Está totalmente transistorizado y usa circuito impreso.

La función del registrador es medir y registrar la corriente directa pequeña producida por los electrodos, lo hace por comparación de la corriente de los electrodos con una corriente de balance entregada por un potenciómetro de retroalimentación. La corriente de los electrodos es directamente proporcional al cloro residual de la muestra. La corriente de balance que sale del potenciómetro es directamente proporcional a la posición de contactos móviles en el potenciómetro relativo al cero. Por consiguiente, cuando el sistema está en balance, la posición de los contactos es una medida directa de la corriente de los electrodos y consecuentemente del cloro residual. Una pluma está unida directamente a los contactos móviles.

El mecanismo mantiene continuamente un balance entre la corriente de los electrodos y la corriente de retroalimentación, la pluma, por consiguiente registra sobre la carta cualquier variación en la corriente de los electrodos, y la carta puede ser calibrada en términos de partes por millón de cloro residual.

B.- Diversas señales de control que pueden recibir los dosificadores de cloro.

Las señales de control que puede recibir el equipo dosificador de cloro, son eléctricas, neumáticas y de vacío variable.

En el sistema de control eléctrico combina un controlador electrónico, un operador mecánico, y un potenciómetro de dosificación.

La combinación de componentes electrónicos usados en la sección del sistema, depende de la señal de entrada. Generalmente, sin embargo, la entrada es convertida a una señal de voltaje. El controlador continuamente compara esta señal de entrada con un voltaje de retroalimentación, cuyo valor está determinado por la posición de la válvula que controla el gasto de cloro. Cualquier diferencia entre las señales es convertida a una señal de error la cual es amplificada.

La salida del amplificador opera un motor reversible hasta que el voltaje de retroalimentación sea igual al voltaje de entrada. El resultado es una posición de la válvula y por consiguiente la dosificación de cloro es siempre proporcional a la señal de entrada.

El operador consiste de un motor reversible engranado a una cremallera que mueve simultáneamente el vástago de la válvula y el potenciómetro de retroalimentación, el cual da su respectivo voltaje.

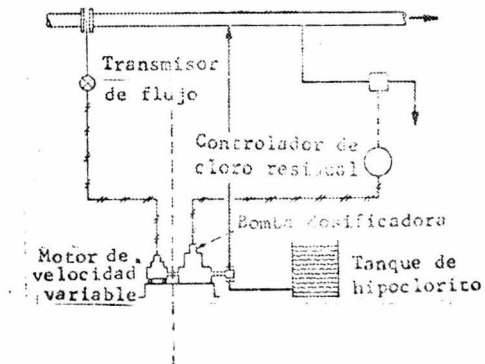
El potenciómetro de dosificación manual se usa para ajustar la dosificación de cloro deseado. Puede ser ajustada para dar una salida de escala completa desde una señal de entrada de media escala, y bajar a un cuarto de escala de salida desde una señal de entrada a escala completa (banda proporcional). El operador neumático del clorador consiste básicamente de un diafragma tipo campana como unidad de poder, una válvula piloto, un relevador de aire, y una válvula de control de dosificación. En la operación, la ---

unidad de poder dá la fuerza que posiciona el vástago de la válvula, la presión de aire operando la unidad de poder es aumentada ó disminuida por medio de la válvula piloto. Aquí un resorte de fuerza es balanceado contra la fuerza producida por un diafragma que controla el aire, para cada valor de la presión de control hay un balance de fuerzas que producen una posición de la válvula reproducible y específica.

El sistema de control de vacío variable, consiste de un mecanismo que produzca vacío, tal como el inyector del clorador, un orificio de restricción y transmisor intermedio de vacío, que convierte las señales de entrada del medidor primario (gasto ó cloro residual) a una señal de vacío que controla la dosificación del clorador.

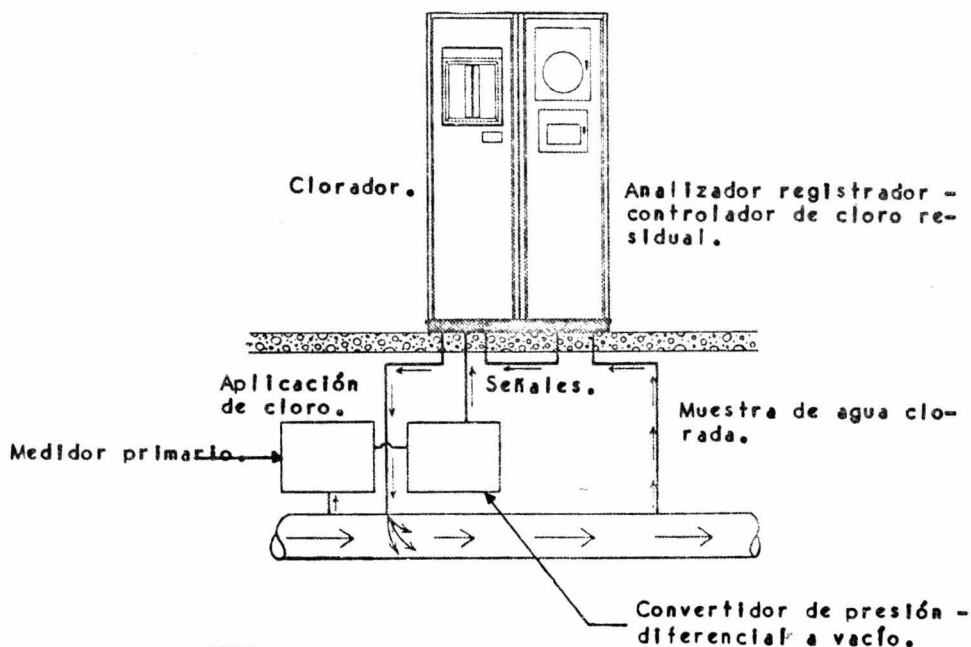
Durante la operación, la señal de control de vacío se aplica a un lado del diafragma de la válvula reguladora de vacío, la cual controla la presión corriente abajo del orificio de la válvula de control de dosificación de cloro. La presión corriente arriba del orificio se mantiene constante por la válvula reguladora de presión de cloro. Ver figura No. 22. Cambios en la señal de vacío causa cambios comparables en la presión corriente abajo en el orificio, y por consiguiente en la presión diferencial a través de dicho orificio. Puesto que el flujo de cloro es proporcional a la presión diferencial, la dosificación de cloro variará de acuerdo con la señal de vacío. Ver figura No. 38.

(22)
(26)(23)(21)
Las figuras No. 47, 48 y 49 muestran diagramas de sistemas típicos de cloración en circuito de control combinado para hipoclorador, clorador de solución al vacío y sistema de alta dosificación de hipoclorito.



(26)

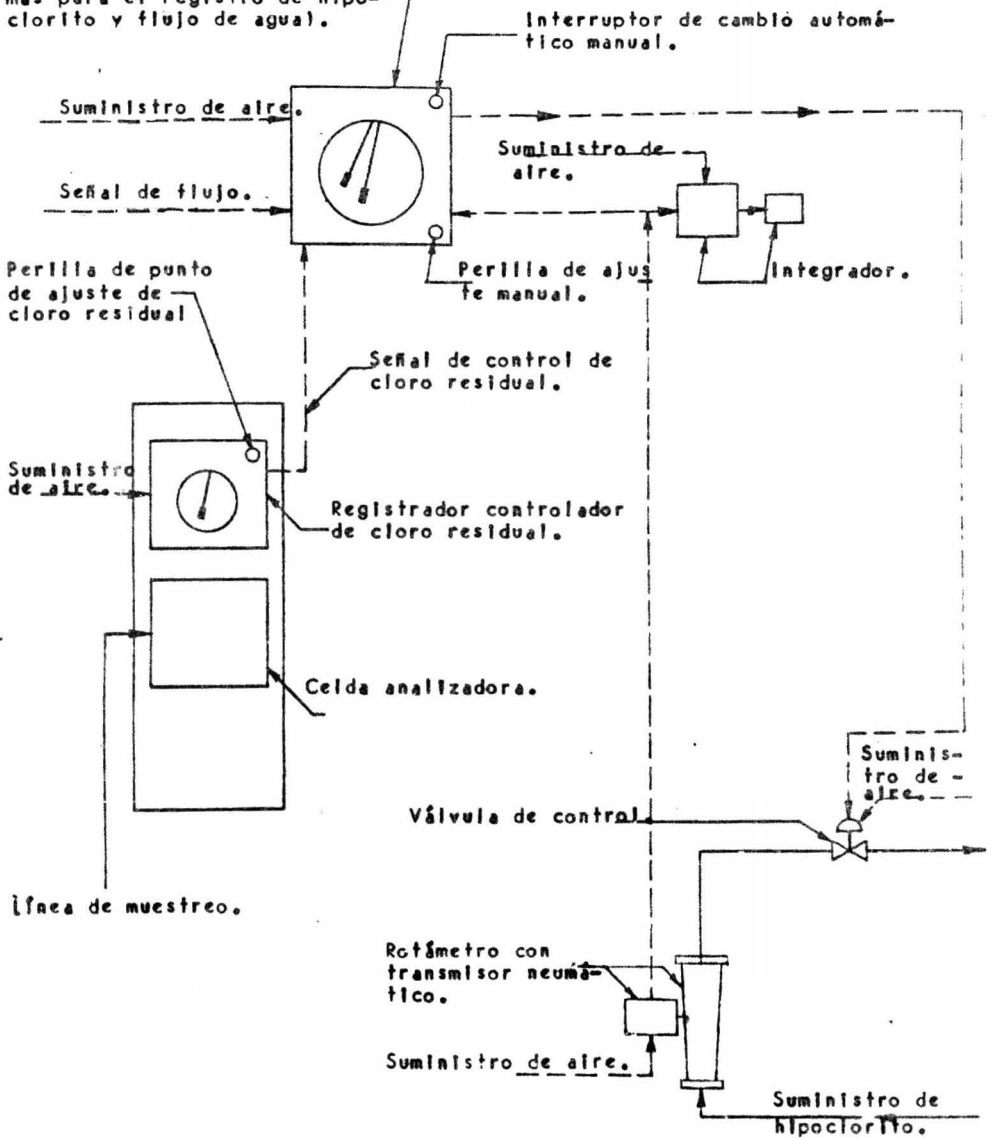
Figura No. 47.- Diagrama de flujo del hipoclorador automático en función de variación del gasto de agua y de la demanda de cloro.



(23)

Figura No. 48.- Sistema de cloración automático en función de variación del gasto de agua y de la demanda de cloro.

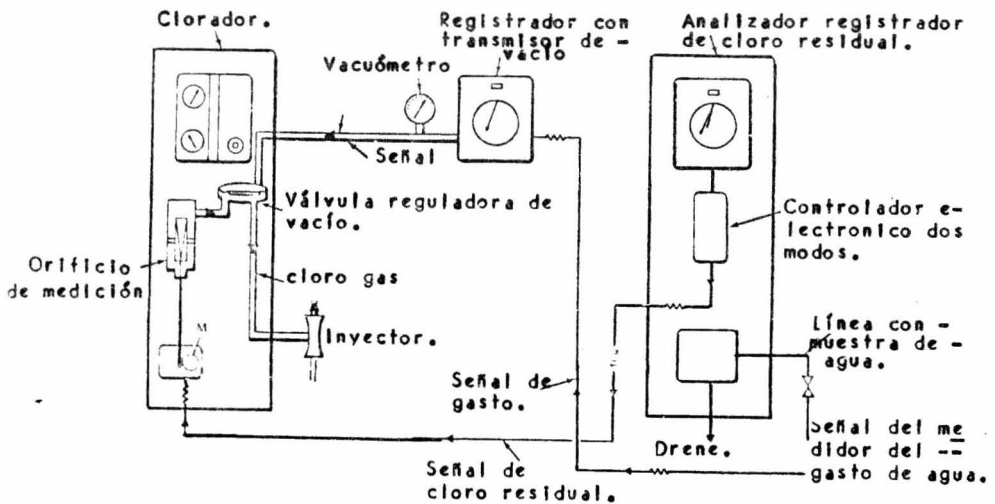
Registrador controlador de flujo de hipoclorito (2 plumas para el registro de hipoclorito y flujo de agua).



(21)

Figura No. 49.- Diagrama de flujo de un sistema de dosificación alta de hipoclorito en circuito de control combinado. Seales neumáticas.

Variaciones a los sistemas de circuito de control combinado - pueden utilizarse dependiendo de las circunstancias tal como el tiempo favorable de 5 minutos (este tiempo es la suma del de respuesta del equipo y el que toma entre la adición de cloro y la toma de muestra). En tal caso se requiere un control adicional para corregir la desviación del punto de control, este controlador tiene dos modos; banda proporcional y reajuste pudiendo ser neumático ó electrónico. La banda proporcional da una posición ó respuesta de la válvula, proporcional a la desviación entre la medición y el punto de ajuste, mientras el reajuste responde proporcionalmente - al tiempo en que el cloro residual esta fuera del punto de ajuste. Ver figura No. 50. (14)



(14)
Figura No. 50.- Diagrama de flujo de un sistema de cloración en circuito de control combinado con controlador electrónico de dos modos. La señal de gasto se envía a la válvula reguladora de vacío y la señal de cloro residual al operador electrónico - del clorador.

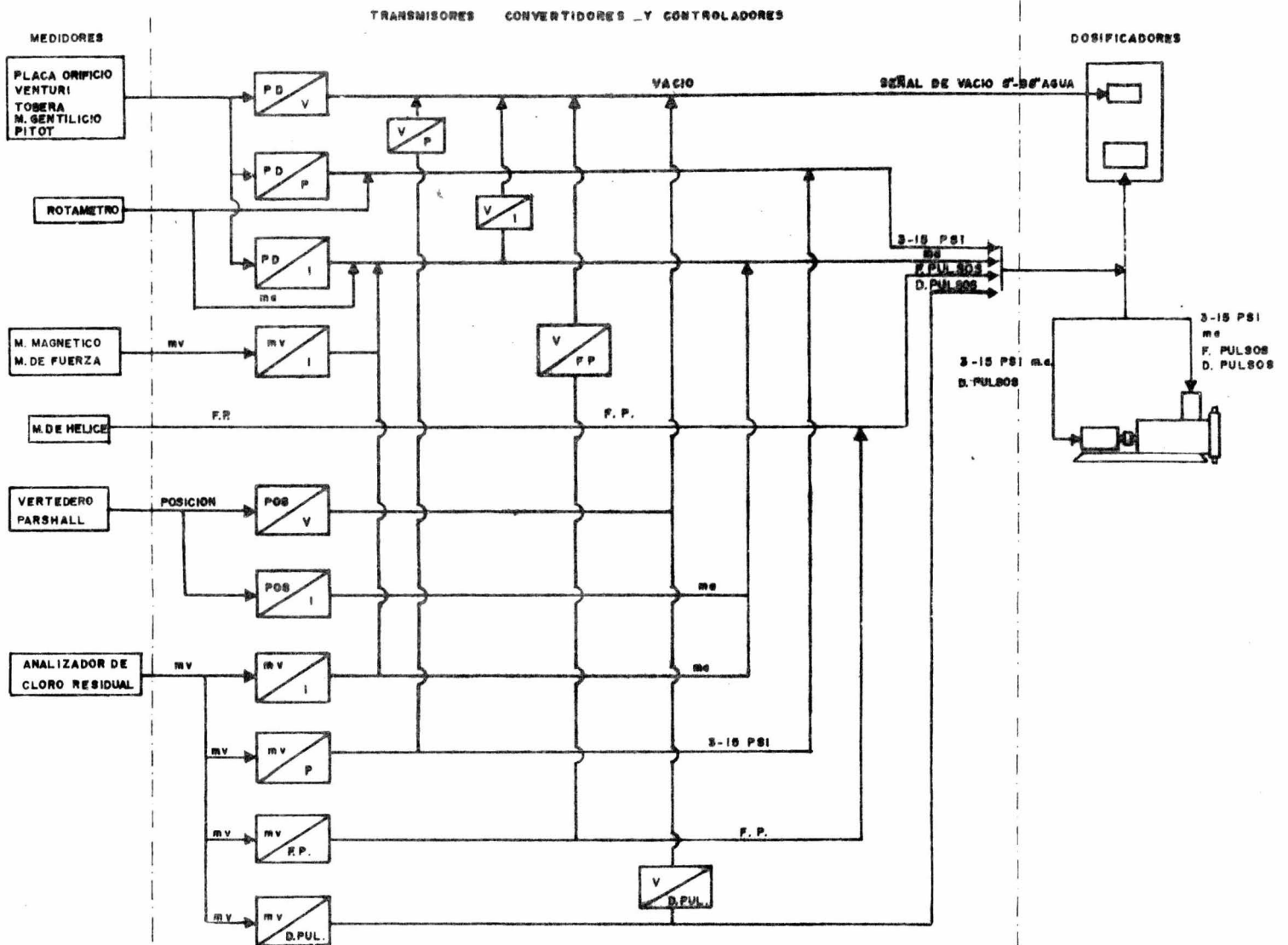


DIAGRAMA QUE MUESTRA EN BLOQUES LOS DISPOSITIVOS Y DIVERSAS SEÑALES PARA UN CIRCUITO AUTOMATICO DE CONTROL COMBINADO DE CLORACION

SIGNIFICADO DE ABREVIATURAS

	CONVERTIDOR DE PRESION DIFERENCIAL HIDRAULICA A VACIO		CONVERTIDOR DE POSICION A VACIO
	CONVERTIDOR DE PRESION DIFERENCIAL HIDRAULICA A PRESION DE AIRE		CONVERTIDOR DE POSICION A VACIO
	CONVERTIDOR DE PRESION DE AIRE A VACIO		CONVERTIDOR DE FUERZA ELECTROMOTRIZ A PRESION DE AIRE (PSI)
	CONVERTIDOR DE PRESION DIFERENCIAL HIDRAULICA A CORRIENTE ELECTRICA (me)		CONVERTIDOR DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (mv) A FRECUENCIA DE PULSOS (F.P.)
	CONVERTIDOR DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (mv) A CORRIENTE ELECTRICA (me)		CONVERTIDOR DE FUERZA ELECTROMOTRIZ (mv) A DURACION DE PULSOS (D.PULSOS)
	CONVERTIDOR DE FRECUENCIAS DE PULSOS (F.P.) A VACIO		CONVERTIDOR DE DURACION DE PULSOS A VACIO
	CONVERTIDO DE CORRIENTE ELECTRICA (me) A VACIO		

CAPITULO IV.

APLICACION ESPECIFICA.

CAPITULO IV

APLICACION ESPECIFICA.

I.- CLORACION DE AGUAS DE ENFRIAMIENTO.

El proceso de quitar materia orgánica por cloración para el objeto de mejorar la transferencia de calor, se basa en el hecho de reconocer que la mayoría de los depósitos sobre la superficie de los cambiadores de calor, en el lado de baja temperatura, son de origen orgánico formados por la acción de algas y bacterias.

El diseño de un sistema de cloración para tratamiento de agua de enfriamiento, se funda en las siguientes consideraciones:

La primera esta dada, por la demanda de cloro que influye en la cantidad de cloro residual libre en los cambiadores de calor.

La segunda esta dada por las características de los organismos responsables de la incrustación, junto con su relativa resistencia a la cloración. Y por último, pero de igual importancia, son los puntos de aplicación y el diseño de difusores de solución de cloro, los cuales harán eficiente la aplicación a la corriente de agua fría.

A.- Factores que influyen la cloración de aguas de enfriamiento.

a.- Estudios biológicos.

Las bacterias son microorganismos vegetales, carentes de clorofila, unicelulares, clasificadas como un grupo intermedio entre las algas y los hongos. Sus dimensiones varían entre 0.5 y 500 micras, su estructura celular es muy sencilla careciendo de núcleo verdadero, y se reproducen por bipartición, siendo su capacidad reproductora extraordinaria. La temperatura óptima para su existencia es de 20°C, aunque son capaces de resistir temperaturas muy bajas, y otras condiciones adversas, además, muchas de ellas tienen la característica de formar esporas, lo que les permite permanecer

con vida latente durante largos periodos.

Las algas son plantas celulares acuáticas, visibles de colores diversos, pero normalmente verdes, debido a la presencia de la clorofila, la cual es el catalizador para sintetizar dióxido de carbono y agua en glucosa por medio de la energía solar.

Los hongos son vegetales talofitos, uni o pluricelulares sinclorofila, por lo que viven a expensas de otros organismos, algunos forman esporas, que los hacen resistentes a las condiciones adversas de humedad, calor y reacciones con sustancias químicas. -

Los hongos filamentosos consisten de masas trenzadas, llamadas micelios, que forman esporas resistentes en los frutos. Este tipo de hongo predomina en aguas muy contaminadas con desechos domésticos.

Las bacterias están siempre presentes en el aire y necesitan de agua para su vida, y se encuentran en todos los sistemas de agua fría debido al contacto del aire en las torres de enfriamiento abiertas, torres de tiro inducido, en las cajas abiertas de los cambiadores de calor, así como, en el agua de repuesto cuando su origen es de tipo superficial y a menudo en suministros de pozo donde predominan las bacterias de tipo ferrosas.

Usualmente con los rayos solares las algas verdes se encuentran junto con las bacterias, así mismo, se pueden encontrar en aguas frías algas blancas y algunas veces plantas de cualquier otro color. Todos éstos organismos contribuyen al ensuciamiento y son causantes de la formación de fango, incrustación y acumulación de materia orgánica. El aumento de la materia orgánica depende de la existencia de su alimento y de la multiplicación de las especies.

La multiplicación es el factor más importante en la acumulación de depósitos orgánicos y como ejemplo; se tiene el hecho, de-

que una simple bacteria dividiéndose a velocidad normal de una vez por hora, producirá 17,000,000 de bacterias en 24 horas.⁽⁹⁾

Las incrustaciones en los cambiadores de calor son a menudo - difíciles de reconocer debido a que están formadas de limo y com-
puestos minerales. Un laboratorio⁽⁹⁾ investigó una muestra de incrus-
tación y encontró que del 15 al 35% es de origen orgánico. Así --
mismo, han notado que en una refinería, la contaminación del agua-
de enfriamiento con aceite ocasiona que los microorganismos sean a
cumulados en los tubos de los cambiadores de calor. Hay eviden-
cias que los organismos como fibras dependen de la presencia de ace-
ite y que sus depósitos se caracterizan como esponjas duras.

Es necesario tomar muestras de limo diariamente, para análi-
sis en el laboratorio; debido a que muchos organismos, varían en -
sus características, tales como; físicas, origen, necesidades de -
alimento y ambiente, y a la vez a que se protegen en un mayor o me-
nor grado contra condiciones desfavorables.

(9) (9)

Las figuras No. 53 y 54 ilustran tipos de bacterias encapsula-
das, frecuentemente encontradas en muestras de limo, reproducidas-
por fotomicrografía, las cuales forman gruesa acumulación sobre la
superficie de los tubos, particularmente donde la turbiedad y otra
materia suspendida está presente en el agua de enfriamiento. La -
figura No. 55 muestra organismos de la variedad filamentososa del ti-
po de bacterias ferruginosas, cabe hacer notar que aunque estos or-
ganismos reúnen fierro ferroso en su proceso de vida, y lo oxida -
al estado férrico en la forma de un tuberculo sobre la tubería, la
presencia de fierro no es esencial para su existencia.

En el laboratorio, los organismos encontrados en la muestra -
de limo son clasificados por grupo. Si el tipo predominante no es
reconocido, se aísla y las pruebas de identificación continúan, --

Flujo de agua.



Sus formas de filamento se engrosan incrementando su densidad.



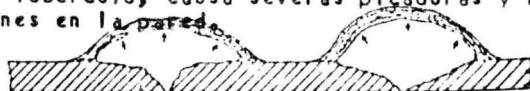
Luego los otros extremos de los filamentos se adhieren.



La masa se expande debido a la formación de gases - (CO_2 , H_2S) por la actividad biológica, formandose - tuberculos. También el valor del pH disminuye en - el agua dentro del tubérculo, causando corrosión.



El tubérculo continua creciendo. Los filamentos se espesan con los depósitos de fierro y otros productos de la corrosión. El valor bajo del pH dentro del agua del tubérculo, causa severas picaduras y hasta perforaciones en la pared.



Pared del tubo.

Figura No. 52.- La evolución de un tubérculo.

los tipos clasificados son examinados por su resistencia a varias dosificaciones de cloro y variando tiempos de contacto. La mínima cantidad de cloro se determina en estos estudios y el porcentaje de eliminación se evalúa en comparación con un control sin cloro, las tablas Nos. 21 y 22 ilustran los resultados obtenidos por estos estudios.

b.- Demanda de cloro.

La demanda de cloro de un suministro de agua es una función del tiempo de contacto del cloro con las impurezas, ya sean orgánicas o inorgánicas o ambas. Puesto que el cloro residual es el cloro original dosificado menos el cloro consumido por los componentes en el agua; y a cortos tiempos de contacto se pierde menos cloro en las reacciones secundarias (aquellas que no son con fines de sinfectantes). Por consiguiente los puntos de aplicación de cloro deberán estar lo más cercano posible a los equipos cambiadores de calor, particularmente cuando el agua está muy contaminada.

La determinación del contenido orgánico de los depósitos en los tubos, su identificación, y la cantidad de cloro para eliminarlo son los pasos preliminares en la solución al problema.

Cuando el cloro se aplica al agua, algo de éste reacciona con materia orgánica presente, con ciertos gases disueltos, y con algo de sales inorgánicas, y en una refinería con aceite y gases, los cuales ocasionalmente entran al agua de enfriamiento. El cloro residual después de satisfacer estas demandas, expresadas en partes por millón, es el criterio de desinfección.

(9)
La figura No. 56 muestra un estudio de la demanda de cloro de una muestra de agua muy contaminada, y es de particular interés el hecho de que la relación de dosificación a cloro residual no es una línea recta.

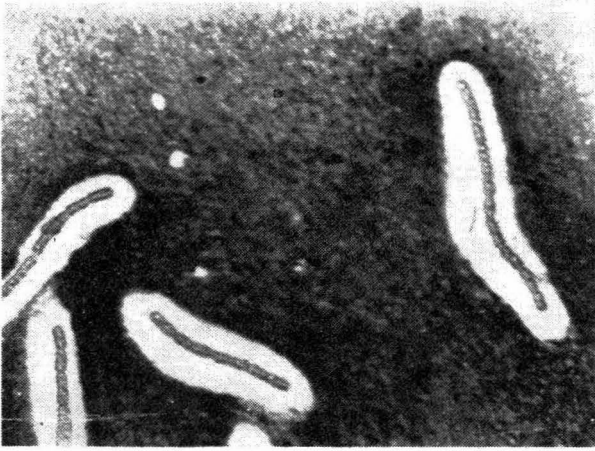


Figura No 53.- Bac
terias encapsuladas
grandes.

Figura No 54.- Bacterias
encapsuladas pequeñas.

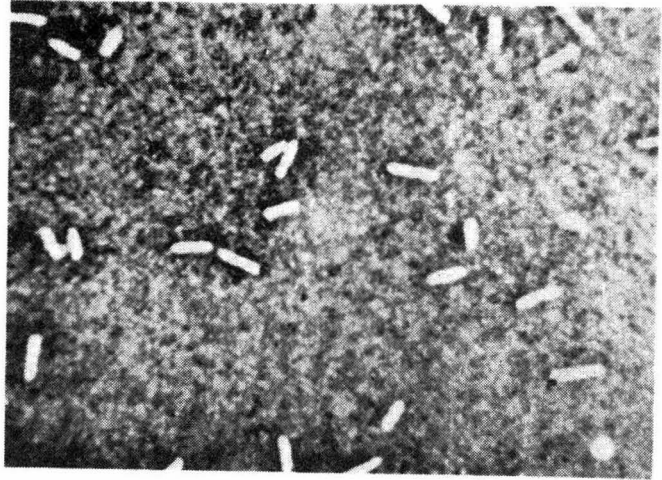


Figura No 55.- Bacterias
ferruginosas tipo filamen
tosa.



T A B L A 21⁽⁹⁾

Mínimo cloro residual para bacterias pequeñas encapsuladas.

Tiempo del tratamiento	C L O R O R E S I D U A L.					
	0.5 ppm		1.0 ppm		2.0 ppm	
	Conteo final X 1000	Porcentaje de eliminación	Conteo final X 1000	Porcentaje de eliminación	Conteo final X 1000	Porcentaje de eliminación
5 mfn.	68.0	23.7	40	35.0	36.0	59.5
10 mfn.	58.0	35.0	47	47.2	29.0	67.4
20 mfn.	68.0	23.7	45	45.0	25.0	72.0
60 mfn.	32.0	64.0	37	37.0	3.3	96.3

Notas: El conteno final es el registro de bacterias por ml remanentes después de un período de tratamiento cerrado.

Los valores de cloro residual se mantienen durante el tratamiento.

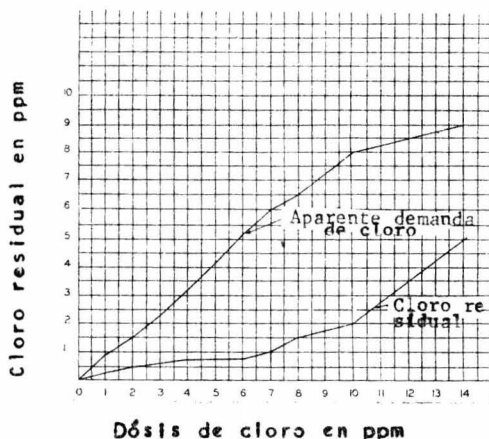
El conteo promedio inicial de muestra sin tratar, fué determinado en 89000 bacterias por ml - Aprox.

T A B L A 22⁽⁹⁾

Mínimo cloro residual para bacterias grandes encapsuladas.

Tiempo del tratamiento	C L O R O R E S I D U A L.			
	0.1 ppm		0.35 ppm	
	Conteo final X 1000	Porcentaje de eliminación	Conteo final X 1000	Porcentaje de eliminación.
10 seg.	10.5	93.0	10.0	93.3
30 seg.	11.0	92.7	9.8	93.3
45 seg.	11.0	92.7	5.4	96.4
1 mfn.	10.0	93.3	4.7	96.8
3 mfn.	9.0	94.0	3.8	97.5
5 mfn.	2.3	98.5	3.4	97.7
10 mfn.	5.2	96.5	1.5	99.0
15 mfn.	4.8	96.8	1.0	99.3

Notas: El conteo promedio inicial de muestra sin tratar fué determinado en 150000 bacterias por ml - Aprox.



(9)
Figura No. 56.- Relación de dosis de cloro a cloro residual.

c.- Puntos de aplicación.

Si el agua de enfriamiento, tiene una demanda de cloro no mayor de 6 a 8 ppm y contiene poco amoníaco, la localización adecuada para los puntos de aplicación es a la succión de las bombas de recirculación, por las siguientes razones:

1.- La instalación del clorador puede estar cercana al punto de aplicación, minimizando las longitudes y diámetros de las líneas de solución de cloro.

2.- Los puntos de aplicación son accesibles y fácilmente instalados en canales abiertos.

3.- El agua a presión necesaria para operar el inyector del clorador, puede obtenerse por el sistema de agua de lavado a mallas o el servicio de bombas.

4.- El control de cloración programado se obtiene de un reloj con interruptores, y la operación es un simple proceso de arranque y paro.

5.- En condiciones de baja demanda, la cantidad de cloro ahorrado por dosificar en puntos de aplicación cercanos a los condensadores, no justifica el costo extra de instalaciones causadas por

líneas de solución, válvulas adicionales y controles complicados - para los múltiples puntos de aplicación.

Hay cientos de instalaciones de cloradores hechas como se describe arriba, las cuales han operado efectivamente por muchos años.

d.- Frecuencia de cloración.

La frecuencia del tratamiento se establece por el método de prueba y error, debido a que es imposible predecir la velocidad -- del crecimiento de los organismos. El cloro residual llevado por el agua de enfriamiento deberá penetrar a la acumulación de organismos, si el intervalo entre tratamientos es largo, el cloro puede ser inefectivo debido a que nunca penetraría a las paredes de los tubos sucios, y las partes inaccesibles pueden llegar a tener un 80 ó 90% de los depósitos. Por consiguiente, el cloro residual deberá ser el necesario para reaccionar con el material depositado y dejar un remanente de suficiente magnitud para eliminar las bacterias.

El tiempo de contacto, multiplicado por la concentración de cloro es aproximadamente igual a una constante para un organismo dado, en otras palabras, si el tiempo de contacto es doble en magnitud, el cloro residual será la mitad y viceversa.

El tiempo para que el agua de enfriamiento pase a través del sistema, a menudo se establece como el período de tratamiento mínimo para agua de enfriamiento industrial.

El agua de enfriamiento en condensadores para plantas termoeléctricas pasan a través del sistema muy rápidamente, pero 10 minutos es el tiempo mínimo recomendado de tratamiento y cloro residual tan alto como 5 ppm se usa raramente.

La frecuencia de cloración según experiencias y criterios, se recomienda sea en forma intermitente, debido principalmente al ahorro en cloro que se obtiene, además de que la mayoría de las veces

mantiene limpias las superficies de equipos de transferencia de calor en el lado frío. Sin embargo, la aplicación de este método de cloración depende en gran parte del tipo de organismo ó organismos principales que se desean eliminar, ya que existen algunos que por su naturaleza tienen sus propios medios de defensa y en los ciclos de cloración los emplean, en cuyo caso se recomienda la cloración continua.

La mayoría de organismos presentes en agua dulce son bacterias, algas y hongos, cuya estructura biológica permite que se eliminan con cloro residual máximo de 2 a 3 ppm y tiempos de contacto máximos de 30 a 60 minutos siendo estos últimos los tiempos normales de los ciclos de cloración en el tratamiento intermitente.

El mejor punto de muestreo para verificar el cloro residual es en la salida del cambiador de calor. Como una norma general, una caída del orden de 0.25 ppm en el cloro residual cuando el agua pasa a través de un cambiador de calor grande.

La cloración intermitente es efectiva en donde se tienen largos periodos de contacto y dependiendo a la vez; de las condiciones de contaminación, temperatura etc., así mismo se obtienen mejores resultados que los que se obtendrían por medio de una limpieza mecánica, sin embargo se recomienda que para unidades altamente contaminadas se limpien mecánicamente antes de que el programa de cloración empiece.

La cloración continua no debe ser subestimada, aunque una de sus mayores aplicaciones es en grandes sistemas de agua de enfriamiento, para eliminación de organismos los cuales tengan corazas duras, tales como: lapas, moluscos y crustáceos comunmente encontrados en agua de mar. Otra aplicación importante de la cloración continua es el tratamiento de agua de enfriamiento en el proceso de enlatado de alimentos, siendo los beneficios en este caso: la

limpieza de las tuberías y ductos que recirculan el agua, y prevenir la contaminación del alimento en las latas.

e.- Duración de los ciclos de cloración.

En el método de cloración intermitente, lo que se trata de -- proteger de crecimientos orgánicos, son las paredes de los tubos -- de los condensadores y no la estructura de la torre de enfriamiento.

La duración del ciclo de cloración deberá ser cuando menos igual al tiempo de retorno del agua de enfriamiento y depende también del tipo de torre, para torres de enfriamiento hiperbólicas y de tiro inducido la duración del tiempo de retorno es alrededor de 15 a 20 minutos, en torres de enfriamiento atmosféricas es de 8 a 10 horas aproximadamente y en las tiro forzado es de alrededor de 1 a 2 horas.

Para la mayoría de los sistemas de agua de enfriamiento, dos ciclos de cloración por día son suficientes. En tiempo de calor y en agua muy contaminada se requieren hasta tres ciclos por día.

La experiencia demuestra que para estimar la capacidad del -- clorador en sistemas de enfriamiento poco contaminados, la dosis -- de cloro deberá ser del orden de 3 ppm aproximadamente, y para sistemas muy contaminados, como el caso de una refinería, la dosis de -- berá ser de 5 ppm aproximadamente, con la dosis y el dato del gasto de recirculación se calcula la capacidad del clorador en Kg/día.

La dosis de cloro deberá ser la suficiente para obtener 1.0 -- ppm de cloro residual libre en la parte superior de la torre, el -- cual puede desaparecer en una ó dos horas, así por ejemplo; en una torre de tiro inducido y con un día de sol desaparece en menos de -- una hora.

En algunos sistemas de enfriamiento con torres hiperbólicas -- puede necesitarse hasta 4 horas antes de que el cloro residual pase de 1.0 a 0.1 ppm, como resultado de la poca luz solar que llega

al agua de enfriamiento debido al diseño de este tipo de torre.

f.- Efecto de la cloración en la madera de la torre de enfriamiento.

El Instituto de torres de enfriamiento y la Asociación Redwood de California de los E.U.A., (The Cooling Tower Institute and the California Redwood Association) recomiendan como límite máximo 1.0 ppm de cloro residual libre, usando una cloración continua sin que cause algún daño a la madera. (30)

El deterioro de la madera es causado principalmente por el crecimiento de hongos y bacterias sobre ella, atacando sus fibras y causando su deslignificación. El crecimiento de algas favorece el crecimiento de los hongos y las bacterias, por consiguiente es esencial ejercer una medida de prevención para evitar su crecimiento, una parte por millón de cloro residual libre durante una hora es suficiente para el control del crecimiento de las algas más resistentes.

En torres de enfriamiento existen muchas esporas provenientes del aire que pueden contaminar el sistema, por lo cual, el ciclo de cloración está sujeto a constantes variaciones para hacer frente a la resistencia específica de diferentes organismos; mes a mes y de estación a estación.

El pH alto acelera el deterioro de la madera, los fabricantes de torres de enfriamiento recomiendan como límite máximo un valor de pH de 7.2 o 7.3. Por otra parte a valores de pH bajos es más eficiente el proceso de cloración.

2.- SISTEMA DE CLORACION PARA AGUA DE ENFRIAMIENTO EN UNA REFINERIA.

A.-) Información proporcionada.

Un ejemplo de aplicación de cloro para el control del ensuciamiento de condensadores enfriados por agua, es el caso de una refi

nería de PEMEX : en Salamanca, Gto., y la Información que se proporcionó es la siguientes

El agua de enfriamiento usada para los condensadores es recirculada en una torre de enfriamiento tipo tiro Inducido, cuya agua de repuesto proviene de pozos. Se recircula en la torre 300000 -- l/min. y el agua de repuesto es de 15000 l/min. El resultado del análisis del agua de repuesto fué

Dureza de calcio	32 ppm como CaCO_3
Dureza de magnesio.	36 ppm " CaCO_3
Dureza total.	68 ppm " CaCO_3
Hierro.	0.1 ppm " Fe
Manganeso.	0 ppm " Mn
Sílice	74-85 ppm como SiO_2
Sólidos disueltos.	460-480 ppm
Sólidos totales.	500 ppm
Anhidrido de carbono disuelto.	4 ppm como CO_2
Bicarbonatos.	260 ppm como CaCO_3
Cloruros.	25.5 ppm como CaCO_3
Sulfatos.	40 ppm como CaCO_3
Nitratos.	0 ppm como CaCO_3
pH.	7.8

Durante la operación, en el agua de enfriamiento, apareció un rápido ensuciamiento de condensadores y superficies de enfriamiento dando como resultado una pérdida de eficiencia en la transferencia de calor, y fué necesario limpiar todas las unidades cada seis meses. Muestras de limo e incrustaciones fueron analizadas y se encontró un contenido de materia orgánica del 2.5% y 30 ppm de aceite en el agua de enfriamiento.

Los organismos encontrados fueron:

- 1.- Abundante crecimiento de hongos color azul verdoso.
 - 2.- Analizando el crecimiento de colonias tipo escarcha, se encontraron bacterias encápsuladas chicas como se muestra en la figura 54.
 - 3.- Se encontraron bacterias encápsuladas grandes como se muestra en la figura 53.
- B.- Determinación de la capacidad del equipo, descripción y operación del sistema.

(30)

Por experiencias para determinar la capacidad de un clorador en sistemas de agua de enfriamiento muy contaminadas, como es el caso de una refinería, la dosis de cloro deberá ser de 5 ppm aproximadamente. Con este dato y el gasto de agua de recirculación de 300000 l/min, la capacidad del clorador se calcula de la siguiente manera:

$$300000 \frac{\text{l}}{\text{min.}} \times \frac{1440 \text{ min.}}{\text{dfa}} \times \frac{5 \text{ Kg}}{10^6 \text{ l.}} = 2160 \text{ Kg/dfa.}$$

Pero el clorador comercial inmediato superior en capacidad fue de 2700 Kg/dfa.

Se decidió la aplicación de cloración intermitente; debido a que el tipo de organismos presentes que se deseaban eliminar, fueron de los que no presentan defensas naturales durante el ciclo de cloración y además al ahorro en consumo de cloro. En relación a este último punto, es importante aclarar que en una cloración intermitente la capacidad del clorador no es el consumo real de cloro. Es decir, si se efectúan tres ciclos de cloración en un día y la duración de este ciclo es de media hora, el consumo real de cloro por día es:

$$2160 \frac{\text{Kg.}}{24 \text{ hrs.}} \times 0.5 \text{ hrs.} \times 3 = 135 \text{ Kg.}$$

Así mismo, se seleccionó el método de control automático en relación a la demanda de cloro por las siguientes razones:

- 1.- Hubo variaciones en la demanda de cloro, debido a que el contenido orgánico del agua cambia según; las condiciones ambientales, de que el ciclo de cloración se efectúe en un día soleado, nublado o durante la noche y a desechos periódicos de aceite que contaminan el agua de enfriamiento.
- 2.- En la cloración de aguas de enfriamiento, el tipo de cloro residual que debe emplearse, es el libre, y sólo mediante un analizador amperométrico continuo puede medirse y controlarse.
- 3.- No fué necesaria la dosificación automática en proporción al gasto, ya que las bombas de recirculación del agua dan gastos constantes.
- 4.- El analizador controlador amperométrico de cloro residual proporciona un control adecuado que puede mantenerse a una concentración no mayor de 1.0 ppm de cloro residual libre en la parte superior de la torre, para evitar daños a la madera y así mismo hacer un gasto innecesario de cloro.

No se seleccionó un clorador de gas directo debido a que no da la capacidad que se requiere de 2160 Kg/día, y tampoco se utilizó hipoclorito porque introduce sales al agua.

Descripción y operación del sistemas

Equipo para la conducción de cloro gaseoso al clorador.

- 1.- 3 tanques de tonelada para cloro gaseoso licuado a presión.
- 2.- Válvulas y conexiones para sacar cloro líquido de los tanques.
- 3.- Un evaporador para cloro líquido de operación eléctrica.

Se emplea el evaporador debido a la gran extracción instantánea de cloro gaseoso que se necesita, ya que de un tanque se obtienen 167 Kg/día, y para extraer 2160 Kg/día se necesitarían 13 tanques en batería y en uso. El evaporador está provisto de los siguientes accesorios de protección y seguridad.

Protección catódica.

Indicador de nivel de agua.

Termómetro para baño de agua.

Manómetro para cloro gaseoso.

Calentadores eléctricos de 9Kw.

Contactos para alarmas de alta y baja temperatura y de alto y bajo nivel de agua.

4.- Una válvula reguladora y reductora de presión de cloro con operador eléctrico para abrir y cerrar, la cual evita que gas pase a la líquida.

Equipo para medir y controlar cloro residual.

1.- Analizador registrador controlador de cloro residual para agua de enfriamiento, el cual recibe una muestra de agua proveniente del sistema de condensadores o de la entrada de agua a la torre incluyendo las siguientes partes.

Celda de muestreo.

Registrador y controlador.

Contactos para alarma por alto y bajo cloro residual.

Equipo para dosificación de cloro.

1.- Clorador de tipo de solución al vacío, con capacidad de 2700 Kg/día, de operación intermitente, cuya solución descargará contra una presión de 0.7 Kg/cm^2 , necesitando para su operación un gasto de 570 l/mín de agua a una presión de 5 Kg/cm^2 .

- 2.- Inyector de garganta ajustable, con diámetro de 7.56 cm.
- 3.- Reloj con interruptores para operar en forma intermitente al clorador, con períodos de 30 minutos por cada 8 horas.
- 4.- Difusor de solución de cloro construido en PVC, de 4m. de longitud por 6.3 cm. de diámetro, instalado en el cárcamo de succión de las bombas de recirculación de la torre de enfriamiento.

Equipo para medir y registrar el consumo de cloro.

- 1.- Registrador e Integrador de consumo de cloro, que recibe señal de medición de 0 a 10 mv del transmisor, el cual - es operado por la presión diferencial de un orificio, interconstruidos en el clorador, con los siguientes accesorios.

Contactos para alarma de alto y bajo consumo.

Contador inverso para cloro remanente en los tanques con interruptor de alarma de cero.

Tablero general de alarmas para:

Alta temperatura.

Baja temperatura.

Bajo nivel de agua.

Alto cloro residual.

Bajo cloro residual.

Alto consumo de cloro.

Bajo consumo de cloro.

De cero existencia de cloro en los tanques.

La operación del sistema se puede explicar siguiendo el diagrama de flujo que se muestra en la figura No. 57:

El cloro sale de los tanques de tonelada en forma líquida por las válvulas inferiores y llega por la parte superior al evaporador obteniéndose extracciones altas de cloro gaseoso, posteriormente pa

sa por una válvula reductora de presión de cloro para que llegue - con una presión de operación de aproximadamente 3 Kg/cm^2 al clorador, la presión reducida evita que el cloro pase a la fase líquida según se muestra en la curva de equilibrio presión-temperatura, figura No. 1. En el clorador el cloro gaseoso es medido y controlada su dosificación por medio de un rotámetro y válvulas reguladoras de presión y vacío así como la válvula de control del clorador va al inyector donde se produce el vacío de operación y se forma la solución de cloro. Para que se obtenga el vacío de operación apropiado, se debe suministrar un gasto de agua a cierta presión en función de la capacidad del clorador y de la presión a vencer por la solución de cloro del inyector va a la cisterna de succión de las bombas de recirculación de agua por medio de un difusor.

Una muestra de agua tratada, que generalmente se toma en la parte superior de la torre; se envía a un analizador registrador y controlador de cloro residual, el cual, envía una señal eléctrica al operador de la válvula que controla la dosificación en el clorador para mantener un nivel de cloro residual durante el ciclo de cloración.

Un reloj incluyendo interruptores y relevadores asociados, -- permite fijar la duración y frecuencia de los ciclos de cloración-- controlando la válvula reductora de presión de cloro gaseoso con -- operador eléctrico el suministro de corriente para la operación -- del evaporador, las válvulas de la línea de succión y del suministro de agua al inyector y al reloj interconstruido en el analizador de cloro residual.

Un registrador integrador de consumo de cloro con contador in verso y contacto eléctrico a cero, nos permite tener un registro - e inventario del cloro consumido, así como del remanente en la ---

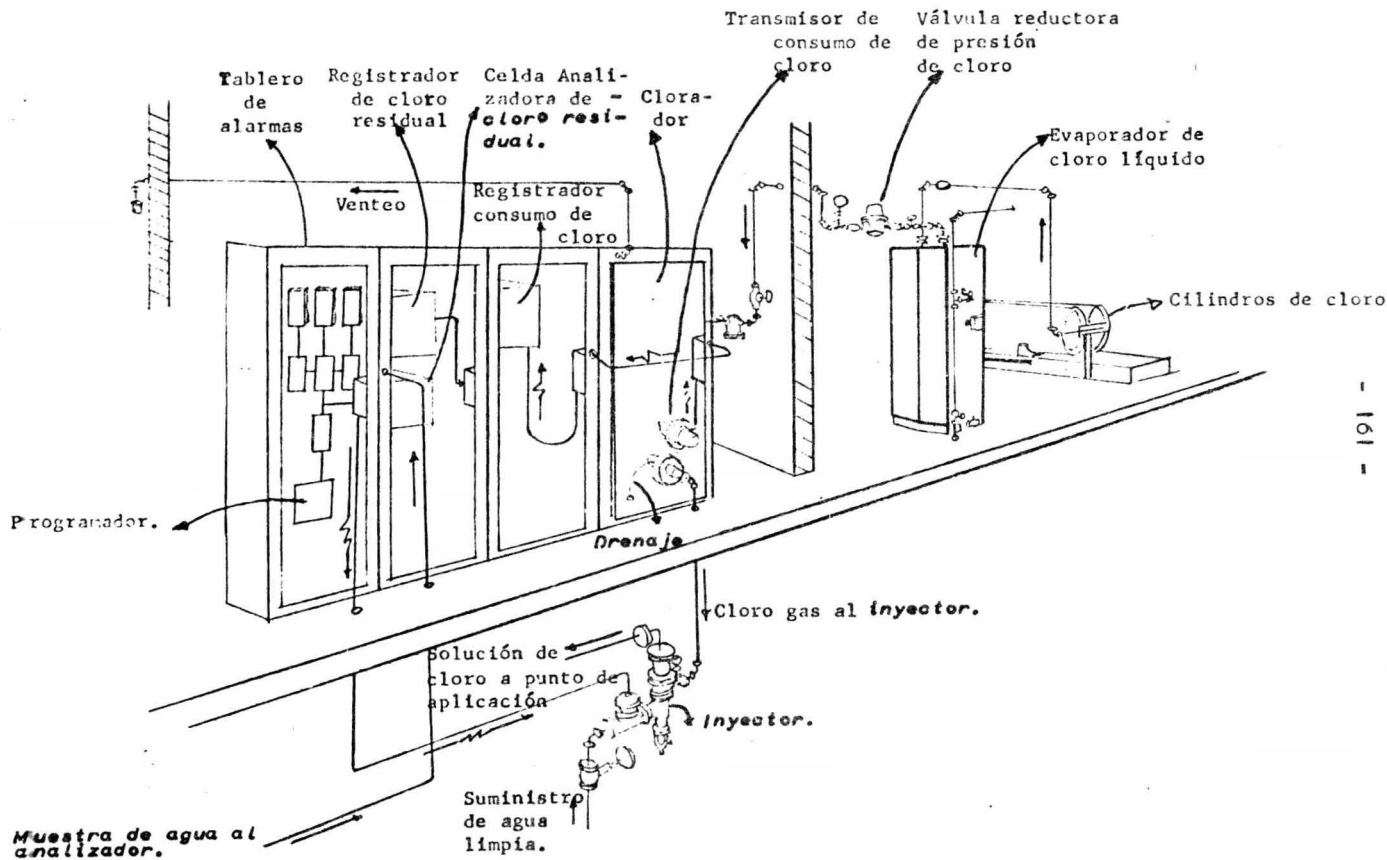


Figura No. 57.- Instalación del sistema de cloración para agua de enfriamiento con capacidad de 2700 Ks/día.

fuelle de abastecimiento y además predecir cuando se tienen que hacer reemplazos de tanques para cloro.

C_o-) Resultados.

Los resultados obtenidos en la refinería con la aplicación de cloro en el agua de enfriamiento, fueron beneficios en cada uno de los equipos y maquinarias que utilizan el agua como medio de enfriamiento, por ejemplos:

En las máquinas compresoras cuando la temperatura no se mantiene dentro de los niveles de operación que se establecen en su diseño, puede sobrevenir una ruptura del cabezal causando costosas reparaciones, además de dejar fuera de servicio al compresor. Antes de la aplicación de cloro se encontró en las máquinas acumulación de materia orgánica, haciendo necesarias costosas limpiezas manuales, debido a la interrupción de la operación del equipo y a la mano de obra calificada para hacer esta limpieza. La cloración durante 60 días; dejó limpio al compresor de limo, mantuvo uniforme el nivel de temperatura, eliminó una posible ruptura del cabezal, redujo la mano de obra de limpieza y el costo en lubricantes debido a temperaturas altas.

En los cambiadores de calor para condensar gasolinas, se debe de mantener una temperatura máxima de 6°C diferente a la de la torre de absorción, para lograr un producto dentro de normas de calidad. La superficie de transferencia de calor de los cambiadores fueron originalmente grandes debido al sobre diseño de ellos, en relación a la producción que había, por lo cual se obtenía gasolina de la calidad de norma. Posteriormente un aumento en la producción, trajo como consecuencia que la superficie sobrediseñada de transferencia fuera apenas justa, pero debido a que el agua contaminada causó acumulaciones de materia orgánica, la diferencia de temperaturas aumentó hasta 12°C. Para reducir el problema se hi-

cieron limpiezas manuales cada semana, inmediatamente después de la limpieza, la diferencia de temperaturas fué de 3°C, pero al fin de la semana aumentaba otra vez la diferencia de temperatura a 12°C. La cloración del agua de enfriamiento redujo y mantuvo la diferencia de 12°C hasta 2°C, después de dos semanas de tratamiento, sin necesidad de la limpieza manual, lo cual se logró obtener gasolina dentro de normas de calidad.

En la planta de fuerza electromotriz, el agua de enfriamiento es vital para la operación de los condensadores barométricos con inyectores, los cuales, condensan el vapor proveniente de las turbinas que generan corriente eléctrica. La manera de medir la eficiencia de los condensadores barométricos, es mediante el vacío -- que producen sus inyectores.

Una medida del grado de ensuciamiento en el condensador, se basa en la diferencia entre el vacío real y el óptimo para una temperatura del agua dada, un alto grado de ensuciamiento causa una gran diferencia. La figura No. 58 muestra los efectos de la cloración en la eficiencia de dos condensadores, en donde se trató un gasto del agua de enfriamiento de 19000 l/min.

Las pruebas empezaron en abril de 1973, al condensador No. 2 se le instalaron nuevos los tubos para ponerse en operación y se utilizó agua clorada por tres meses, manteniéndose un vacío de aproximadamente de 0.1" Hg abajo del valor óptimo. El primero de julio la cloración fué descontinuada y el condensador se ensucio rápidamente, y después de tres meses el vacío disminuyó a 1.2" Hg abajo del valor óptimo. El condensador No. 2 fué puesto en operación con agua sin tratar y con limpieza manual cada dos meses, obteniéndose un vacío promedio de alrededor de 1.1" Hg, abajo del valor óptimo. El primero de julio la cloración fué suspendida al --

condensador No. 1 y aplicada en el No. 2, y la eficiencia no se hizo esperar en este último, teniendo solo 0.4^m de Hg abajo del valor óptimo con solo tres meses de tratamiento, y de la limpieza -- que se efectuaba cada dos meses, solo se efectuaron inspecciones anuales.

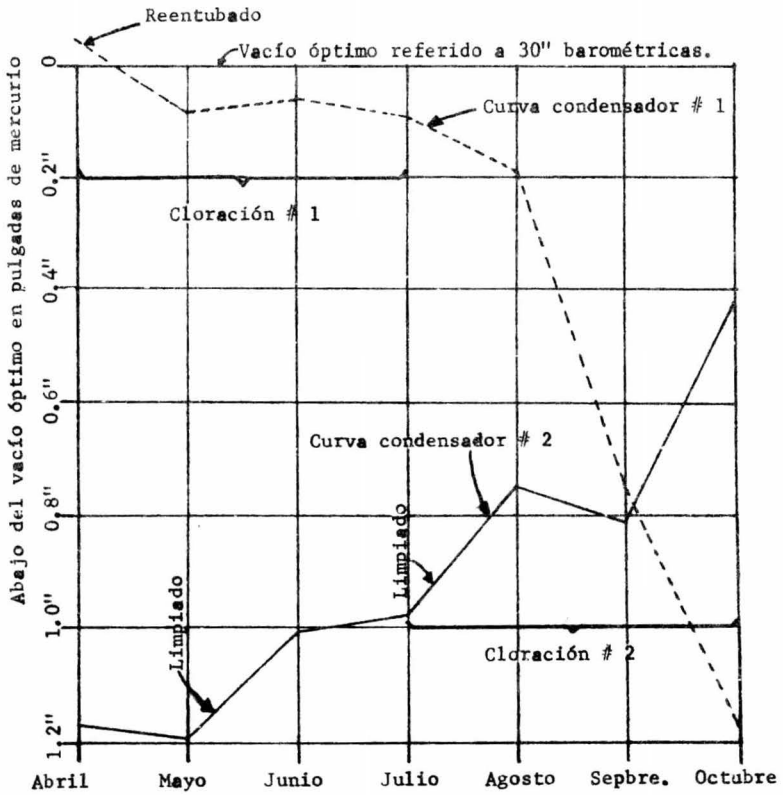


Figura No. 58.- Pérdidas de vacío por ensuciamiento de condensadores.

CAPITULO V.

RELACION COMPARATIVA DE COSTOS DE CLORO
DE HIPOCLORITO DE SODIO O CALCIO E IN--
VERSION EN EQUIPO.

C A P I T U L O V.

RELACION COMPARATIVA DE COSTOS DE CLORO DE HIPOCLO-
RITO DE SODIO O CALCIO E INVERSION EN EQUIPOS.

Las consideraciones económicas, son de importancia, para llevar a cabo cualquier inversión y son las que determinan que tipo de equipo ó sistema es el que está dentro del presupuesto.

Como se describió en los capítulos II y III, hay diversos equipos y sistemas para la aplicación de cloro en el tratamiento de agua en función de la aplicación específica de que se trate, pero, los costos y disponibilidad de cloro e hipoclorito de sodio ó calcio y del equipo, practicamente el mejor equipo o sistema.

En este capítulo se proporcionan los costos aproximados de cloro gaseoso e hipoclorito, de acuerdo a la cantidad consumida por año. También se muestra en las figuras Nos. 59 y 60 las relaciones de consumo anual e inversión en equipos y sistemas manuales, automáticos en proporción al gasto y automáticos en circuito de control combinado.

I.- RELACION DE CONSUMO ANUAL Y COSTO DE CLORO DE HIPOCLO-
RITO DE SODIO O CALCIO.

A.- Hipoclorito de sodio al 13%. Para dar una mejor expresión de los costos, el valor económico de ésta substancia se expresa en Kg. de cloro 100% activo, y de acuerdo a los consumos anuales, ya que a mayores consumos se obtiene mejor precio. Así - en la figura No. 60 se observa una discontinuidad de la curva de costo de hipoclorito de sodio, debido a que hasta un consumo anual de 63800 Kg. de cloro activo, el Kg. vale aproximadamente \$ 9.25, y arriba de un consumo anual de 65000 Kg. vale aproximadamente \$ 7.70.

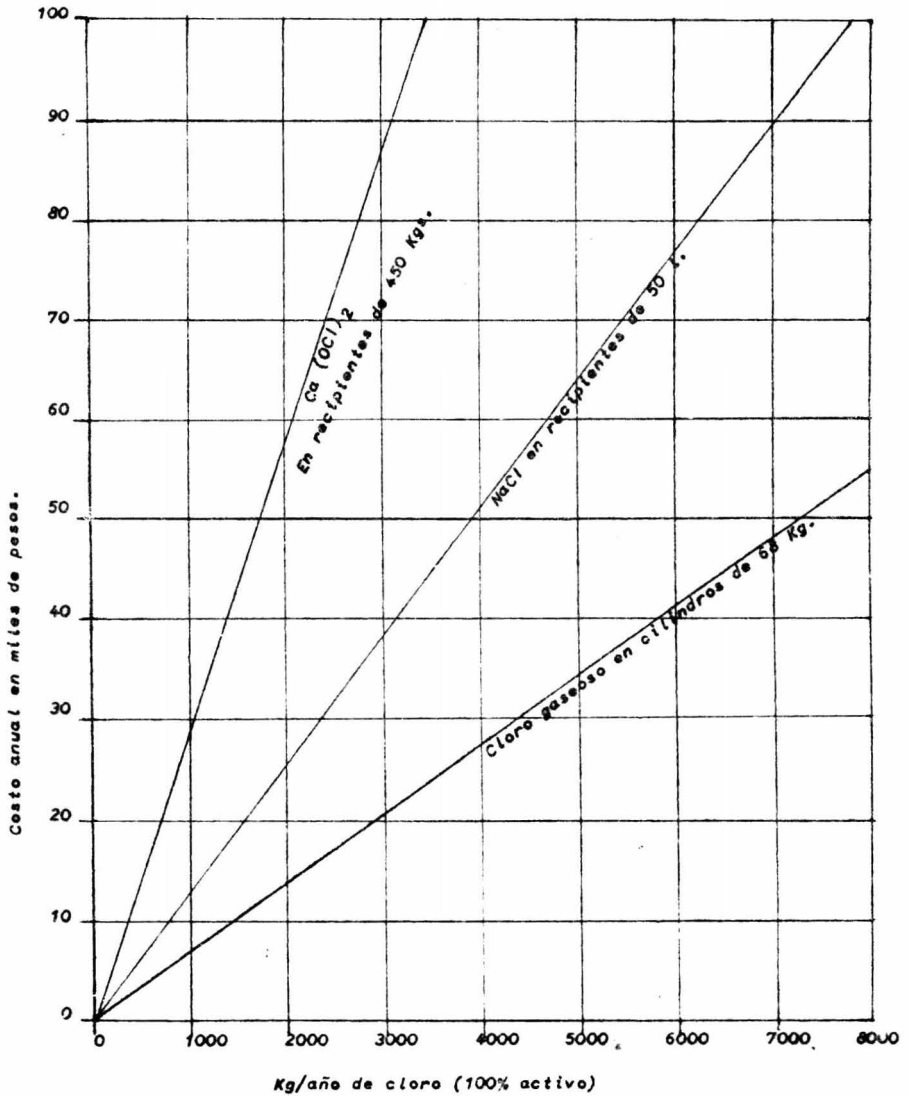


Figura No. 59.- Relación de costo anual a consumo anual de cloro para un consumo máximo de 8 toneladas /año.

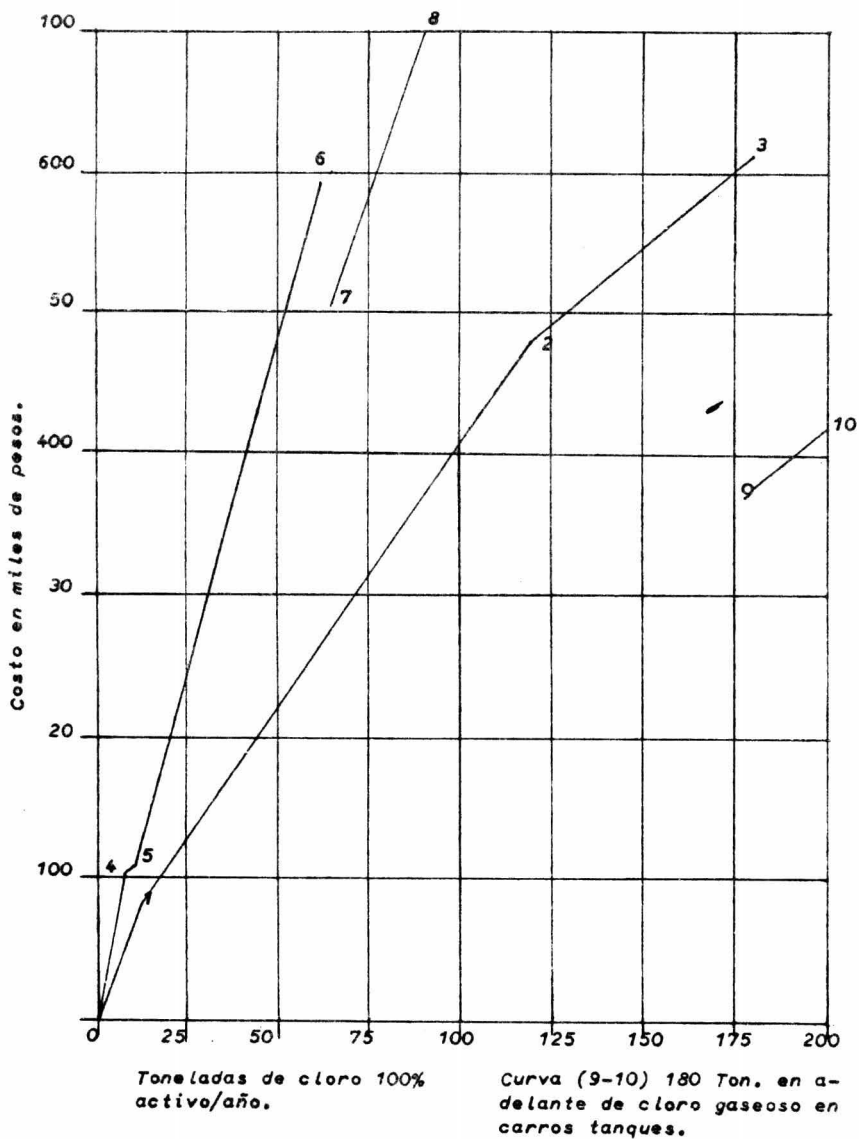


Figura No. 60.- Relación costo de cloro 100% activo a consumo anual.

Identificación de las curvas respecto a la figura No. 60

- Curva (0-1) Capacidad de 0-12 toneladas en cilindros para cloro gaseoso de 68 Kg.
- Curva (1-2) Capacidad de 12-120 Toneladas en tanques para cloro gaseoso de 908 Kg.
- Curva (2-3) Capacidad de 120-180 toneladas en tanques para cloro gaseoso de 908 Kg.
- Curva (0-4) Capacidad de 0-8 toneladas de cloro 100% activo de hipoclorito de sodio en recipientes de 50 l.
- Curva (4-5) Capacidad de 8-10.4 toneladas de cloro 100% activo de hipoclorito de sodio en recipientes de 200 l.
- Curva (5-6) Capacidad de 10.4-63.8 toneladas de cloro 100% activo de hipoclorito de sodio en pipas de 5000 l.
- Curva (7-8) Capacidad de 65 toneladas en adelante de cloro 100% activo de hipoclorito de sodio en pipas de 5000 l.
- Curva (9-10) Capacidad de 180 toneladas en adelante de cloro gaseoso en carros tanque.

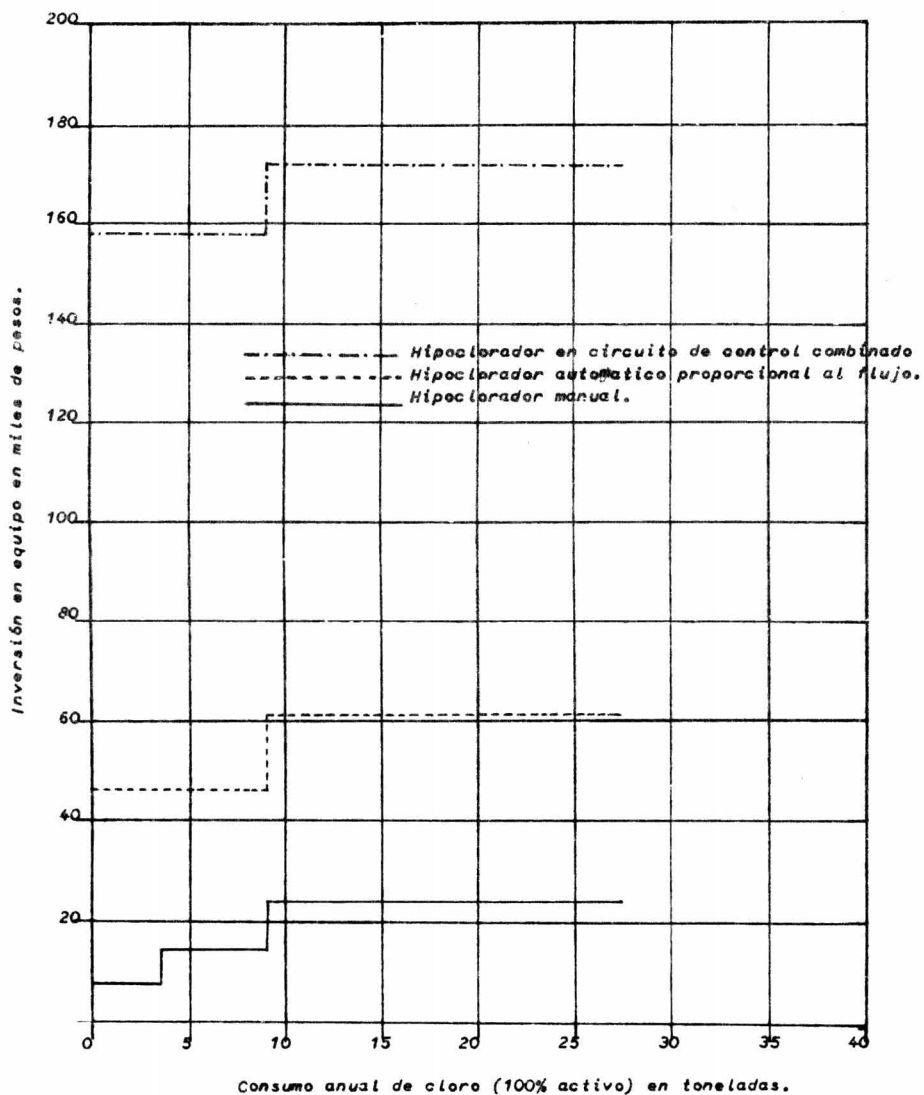


Figura No. 61.- Relación de consumo anual de cloro a costo en equipo.

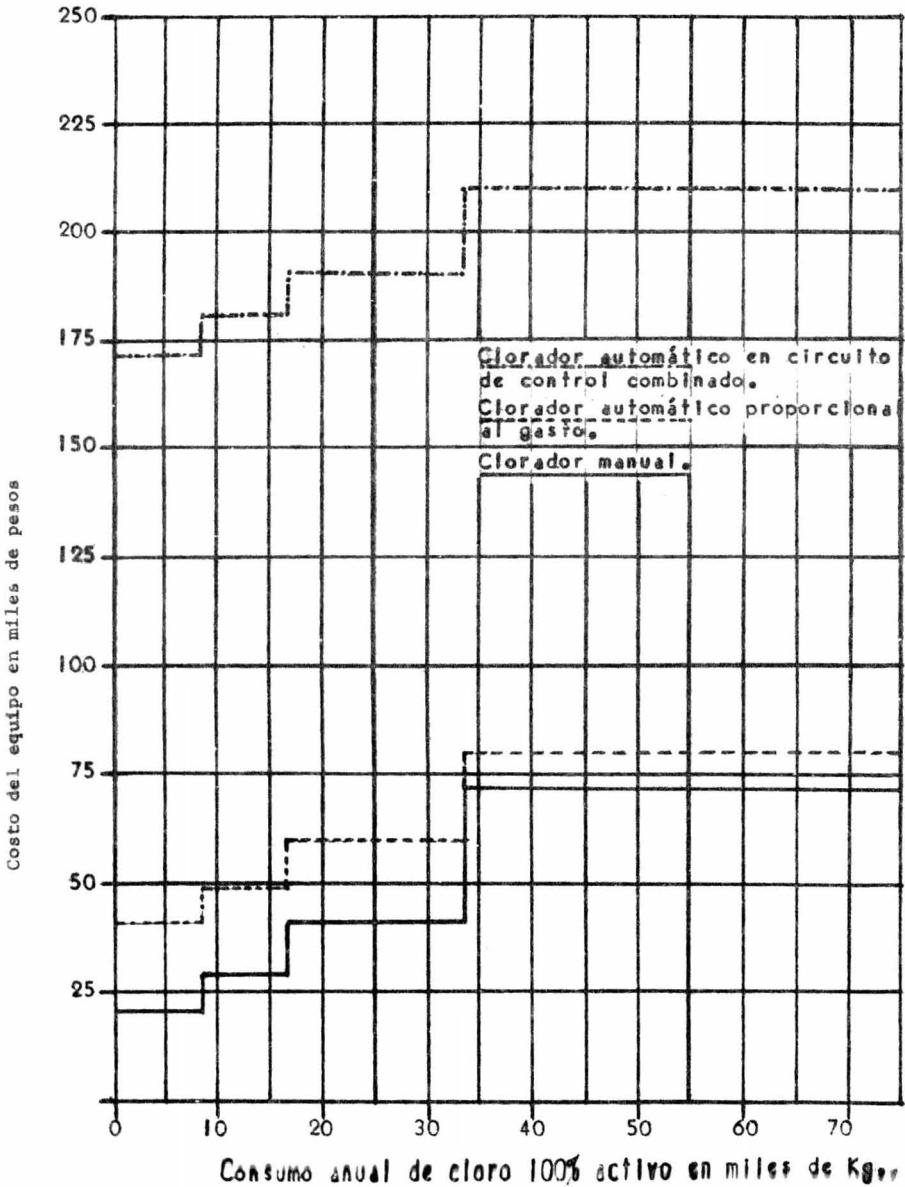


Figura No. 62.- Relación consumo anual de cloro a inversión en equipos.

consideró fue de 104 Kg/día., equivalente a 800 l/día (solución al 13% de concentración). Esto se debe a que para mayores consumos, es impráctico por el costo elevado de recipientes grandes que se emplearían en el almacenaje, el espacio que éstos ocuparían, la inestabilidad de las soluciones para almacenarlas durante mucho tiempo, la difícil operación de preparar volúmenes grandes y el costo elevado del hipoclorito de sodio.

2.- En la inversión de los equipos dosificadores de cloro gaseoso, se están incluyendo sólo los recipientes necesarios para mantener en operación éstos equipos, más no los de reserva y tránsito que son necesarios mientras el proveedor entrega el cloro. Lo que se pretende es dar el costo en inversión del equipo ó sistema durante su uso normal, preferentemente se dió un tiempo mínimo de uso de 24 horas.

3.- Para los equipos automáticos en proporción al gasto, tampoco se tomó en cuenta el precio de los medidores primarios de gas to, ya que éstos varían ampliamente de acuerdo a la necesidad específica de que se trate.

3.- RESULTADOS .

Analizando las figuras Nos. 59 y 61, de relación de consumo anual y costo de cloro y de relación de consumo anual e inversión en equipo, para consumos bajos existe una relativa conveniencia en el uso de hipoclorito de sodio sobre cloro gaseoso, la cual se manifiesta hasta 3 Kg/día de cloro 100% activo. La inversión para un hipoclorador manual para 3 Kg/día es de \$ 7,300.00 aproximadamente, y el costo de cloro anual para ésta capacidad es de \$ 13,850.00; mientras que la inversión de un clorador manual para las mismas necesidades es de \$ 22,000.00 aproximadamente y un costo en cloro anual de \$ 7,400.00, por lo cual existe una en ahorro de \$ 6,450.00 --

si se emplea cloro gaseoso en lugar de hipoclorito de sodio, y la mayor inversión en el clorador se paga aproximadamente en dos años.

Este mismo razonamiento se puede aplicar para los equipos automáticos y obtener las conclusiones, dependiendo de la rentabilidad deseada de la inversión.

No se recomienda que la localización del equipo de dosificación de -- cloro, se encuentre en lugares cerrados; sin embargo, si por alguna razón no se puede evitar, es preferible de ser posible el empleo de hipoclorito de sodio, debido al costo de accesorios adicionales de seguridad que se necesitan si se emplea cloro gaseoso; tales como, detectores de fugas, mascarillas contra cloro, ventiladores, alarmas, etc. Independientemente de tener debidamente preparado el personal que opera éstos equipos debido a los riesgos en el manejo de cloro gaseoso.

C A P I T U L O V I

CONCLUSIONES.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES.

El estudio realizado en esta tesis está basado en la información existente sobre cloración, y en la experiencia personal obtenida de nuestro trabajo, que nos ha relacionado con múltiples proyectos y aplicaciones.

Lo que se pretende en esta tesis, es ofrecer los principios y conceptos importantes, para la selección de equipos y diseños de sistemas de elaboración en tratamiento de agua; sin hacer un estudio profundo de alguna de las múltiples aplicaciones específicas de la cloración indicadas, ya que incluso se podría elaborar una tesis completa de alguna de ellas.

La forma más conveniente del cloro para su aplicación, es la de cloro gaseoso en relación al hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio, debido a que contiene 100% cloro activo, es más económico y la operación de dosificarlo más sencilla, sólo que hay que tomar en cuenta las precauciones en su manejo y las consideraciones en inversión según el consumo.

Se ofreció un resumen de conceptos que es conveniente tener presentes cuando se trate de la cloración y su práctica, los cuales ayudan al diseño completo del sistema; por ejemplo determinación de puntos de aplicación, tomas de muestra, difusión de la solución de cloro tiempos de contacto, procesos del punto de ruptura y de cloro-amoniaco etc. También se proporcionó una secuencia de los pasos necesarios que hay que seguir para la selección del equipo y el sistema completo de cloración en función de la capacidad y del método de control.

Se elaboró un breve estudio sobre la cloración de aguas de enfriamiento, con el fin de tratar en forma práctica la secuencia pa

ra la selección y el diseño del sistema de cloración en función de una aplicación determinada, y los beneficios que se puedan obtener en una planta industrial.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Babbitt, H.E., and Bauman, E.R., "Sewerage and Sewage Treatment", John Wiley & Sons, 8th Edition, pag. 24-23, New York - (1965).
- 2.- Babor, I., "Química General Moderna", Editora Nacional, S. de R. L., 4a. Edición, pag. 178-187, México, D.F. (1961).
- ✓3.- Baker, R.J., "Types and Significance of Chlorine Residuals", Journal American Water Works Association, 51, 1185, (1959).
- 4.- Black, C.A., "Activation of Silica for Use in Water Treatment" Journal AWWA., 45, 1101, (1953).
- 5.- Comeaux, R. V., "ORP Control of Cooling Tower Chlorination", Paper presented at "The 23rd Annual International Water Conference of The Engineer's Society of Western Pennsylvania", Pittsburgh Pennsylvania (October 24, 1962).
- 6.- Chamberlin, N.S., and Snyder, H.B., "Technology of Treating - Plating Wastes", Tenth Ann. Wastes Conf. Purdue Univ. (May - 1955).
- 7.- Dobson, J.G., "The Treatment of Cyanide Wastes by Chlorination" Sewage Works Journal., 19, 1007, (1947).
- 8.- Edwards, S.E., and McCall, G.B., "Manganese Removal by Break-point Chlorination", Water & Sewage Works., 93, 303, (1946).
- 9.- Estes, N.C., "Chlorination of Cooling Waters", Refined and - Natural Gas Mfg.", 17, (1938).
- 10.- Fair, G.M., Morris, J.C., Chang, S.L., Weld, Jra., Burden, R.P. "The Behavior of Chlorine as a Water Disinfectant", Journal - New England Water Works Association, 61, 285 (1947).
- 11.- Foxboro, S.A., "Diagramas de Instrumentación" pub. 105 esp. -- pag. 10, México, D.F. (1968).

- 12.- Granstom, M.L., and Lee, G.F., "Generation and Use of Chlorine Dioxide in Water Treatment," Journal AWWA, 50, 1453, - (1958).
- 13.- Griffin, A.E. "Chlorine for Ammonia Removal", Fifth Annual Water Conf. Proc. Engrs. Soc. Western Penn, pag. 27 (1944).
- 14.- Griffin, A.E. and Baker, R.J., "The Breakpoint Process for-Free Residual Chlorination", Journal of The New England -- Water Works Association, 73, 250, (1959).
- 15.- Griffin, A.E. and Chamberlin, N.S., "Some Chemical Aspects-of Breakpoint Chlorination", J. NEWWA., 55, 371, (1941).
- 16.- Knight R.G. and Baker R.J., "Evaluation of Factors Affecting Chlorination of Condenser Cooling Water", presented at 29th International Water Conference, Pittsburg, Pennsylvania (- Nov 21, 1968).
- 17.- Martin R.B. "Chlorination of Condenser Cooling Water" Trans, A.S.M.E., 60, 475 (1938).
- 18.- Moeller T., "Química Inorgánica" Editorial Reverté, S. A., - pag. 122, México, D.F. (1961)
- ✓ 19.- Moore E.W. "Fundamentals of Chlorination of Sewage and Waste", Water & Sewage Works, 98, No. 3, (1951).
- 20.- Solvay Div., "Chlorine Bleach Solutions", Allied Chem. Co., - Bull 14, New York, (1960).
- 21.- Spink L.K., "Principles and Practices of Flow Meter Engine--ring", The Foxboro Co., pag. 3-13, Mass., (1961).
- 22.- The Chlorine Institute, Inc. "Chlorine Manual", pag. 3-19, -- 24-25, 27-30, New York, (1969).
- 23.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt, "Book Parts" Belleville, New Jersey, (1973).

- 24.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt, "Chlorination Catalog Book 1," Equipment Selection and Technical Data, Belleville, New Jersey, (1973).
- 25.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt, "Chlorination Catalog Book 2," Equipment Arrangement and reference material, Belleville, New Jersey, (1973).
- 26.- Wallace & Tiernan Inc., "La Cloración Proteje a su Agua Potable" pág. 3-8, 12-19, 26-31, Belleville, New Jersey, (1960).
- 27.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt "Getting The Best out of --- Plunger Metering Pump" Bulletin RA-2211-C, Belleville, New Jersey, (1966).
- 28.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt "Process Control Instrumentation", Belleville, New Jersey, (1973).
- 29.- Wallace & Tiernan Div. Pennwalt "The V-notch Story" Bulletin TA-1041-C-2, Belleville, New Jersey, (1969).
- 30.- White C.G. "Handbook of Chlorination", Van Nostrand Reinhold Co., pág. 98, 108-109- 128-130, 151, 194-195, 232-233, 236,- 240, 247, 259, 262, 557-558, New York, (1972).
- 31.- Williams D.B. "Control of Free Residual Chlorine by Ammoniation" Journal American Water Works Association 55, 1195 (1963).