



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN
DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE
LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**

Jorge Alberto Portillo Vásquez

Asesorado por la Inga. Mariamne Enoé Urrutia Gramajo

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN
DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE
LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ALBERTO PORTILLO VÁSQUEZ

ASESORADO POR INGA. MARIAMNE ENOÉ URRUTIA GRAMAJO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Marco Vinicio Monzón Arriola
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN
DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE
LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Industrial, con fecha 30 de enero de 2012.



Jorge Alberto Portillo Vásquez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 7 de febrero de 2013

Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Urquizú:

Atentamente me dirijo a usted para someter a consideración el trabajo de graduación con tema: **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**, del estudiante Jorge Alberto Portillo Vásquez quien se identifica con número de carné 95-16223.

He asesorado y revisado el trabajo, y considero que llena satisfactoriamente los requisitos, por lo que recomiendo su aprobación.

Sin otro particular me suscribo a usted

Atentamente

F.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. E. Urrutia G.', written over a horizontal line.

Inga. Mariamne Enoé Urrutia Gramajo

Colegiada No. 6046

Asesora

Mariamne Urrutia G.
Ingeniera Industrial
Colegiada 6046

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.051.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Alberto Portillo Vasquez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Francisco Hernández A.
Colgado 3,242

Ing. Francisco Arturo Hernández Arriaza
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.170.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Alberto Portillo Vásquez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

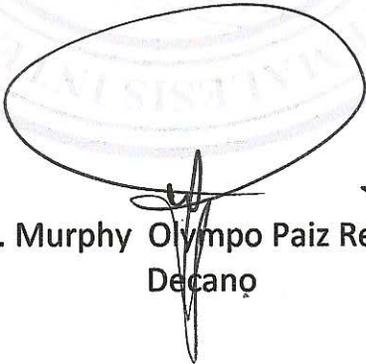


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 434 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE DESINFECCIÓN DE CLORO GAS, APLICADO A LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL TANQUE LABOR DE CASTILLA, DE LA EMPRESA ABASTESA,** presentado por el estudiante universitario **Jorge Alberto Portillo Vásquez,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 21 de junio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Amigo incondicional, por darme la sabiduría y fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante en mi vida.
Virgen Maria	Por estar siempre a mi lado y cuidar de mi familia.
Mis padres	Jorge Antonio Portillo Arriaza y Sara Vásquez Ramos. Pilares de mi formación, gracias a sus enseñanzas infinitas y ser ejemplo en mi vida, formaron un hombre de bien.
Mi esposa	Ericka Edith García García, por darme la fortaleza para culminar mi carrera y ser luz en mi vida; por amarme de aquí hasta donde el cielo termina.
Mis hijos	José Antonio y Daniel Alejandro, fruto del amor y la bendición de Dios. Esperanza de mi vida.
Mis hermanos	Sara Isabel y Gabriel Antonio, por su cariño y apoyo incondicional.
Mi familia	Por su cariño sincero, en especial a mis abuelos, y los que se encuentran con Dios.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de formarme en tan importante casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación profesional.
Mi asesora	Inga. Mariamne Urrutia, por su apoyo y comprensión; orientándome en todo momento en la asesoría de mi trabajo de graduación
Mi revisor	Ing. Francisco Hernández, por su valiosa asesoría en este trabajo de graduación.
ABASTESA	Por permitir realizar mi trabajo de graduación en sus instalaciones.
Mis compañeros de universidad y amigos	Por su valiosa amistad y todos los momentos compartidos durante nuestro proceso de estudio y graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Referencias del tanque Labor de Castilla.....	1
1.2. Generalidades del tanque Labor de Castilla.....	2
1.2.1. Ubicación.....	3
1.2.2. Población que se abastece.....	4
1.2.3. Infraestructura actual.....	4
1.2.4. Disponibilidad de mano de obra calificada.....	7
1.2.5. Consumo diario para el tanque Labor de Castilla.....	8
1.2.6. Análisis microbiológico, físico y químico del agua.....	8
1.2.7. Principales fuentes que abastecen el tanque Labor de Castilla.....	10
1.2.8. Tipo y concentración de desinfección utilizada.....	11
1.3. Situación de ABASTESA.....	11
1.3.1. Características generales de ABASTESA.....	12
1.3.1.1. Ubicación.....	12
1.3.1.2. Información básica del acueducto privado ABASTESA.....	12
1.3.1.3. Compromiso de ABASTESA.....	13

1.3.1.4.	Estado actual de ABASTESA	13
1.3.1.5.	Situación actual de la calidad de agua en ABASTESA.....	13
1.3.1.5.1.	Métodos que utilizan en la actualidad.....	15
1.3.1.5.2.	Tipo de análisis que utilizan para determinar la cantidad de cloro residual	18
1.3.1.6.	Características físicas de la zona	19
1.3.1.7.	Servicios de agua potable.....	19
2.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	21
2.1.	Breve descripción de los diferentes métodos alternativos de desinfección	22
2.1.1.	Ozono.....	22
2.1.2.	Radiación ultravioleta	23
2.1.3.	Dióxido de cloro.....	24
2.1.4.	Cloraminas	26
2.2.	Consideraciones específicas.....	28
2.2.1.	Levantamiento topográfico por medio de equipo GPS.....	29
2.2.2.	Breve explicación del funcionamiento del equipo GPS.....	29
2.2.3.	Tabulación de datos	31
2.2.4.	Esquema del tanque Labor de Castilla	33
2.2.5.	Factores que son importantes para determinar el método de desinfección.....	35
2.2.5.1.	Temperatura	35

	2.2.5.2.	pH de agua	35
	2.2.5.3.	Caudal de agua a desinfectar.....	38
	2.2.5.4.	Condiciones de mezcla	38
	2.2.5.5.	Datos microbiológicos, físicos y químicos del tanque Labor de Castilla	38
	2.2.6.	Interrogantes para la selección del producto.....	40
	2.2.7.	Mecanismos del método de desinfección del cloro.....	40
2.3.		Pasos finales para la selección del método de desinfección	42
	2.3.1.	Instalación y sus requerimientos	42
	2.3.2.	Efecto residual	43
	2.3.3.	Infraestructura existente.....	44
	2.3.4.	Disponibilidad eléctrica	44
	2.3.5.	Aptitudes técnicas.....	45
	2.3.6.	Costos	45
3.		INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	47
	3.1.	Tipo de sistema a instalar	47
	3.2.	Esquema de instalación y accesorios para el sistema de cloración a gas propuesto, para el tanque Labor de Castilla de ABASTESA.....	48
	3.3.	Determinación del punto a dosificar cloro gas, en el sistema de distribución de agua para el tanque Labor de Castilla de ABASTESA.....	49
	3.4.	Preparación del equipo dosificador.....	50
	3.5.	Instalación del dosificador.....	51
	3.5.1.	Componentes	52
	3.5.2.	Requisitos	57

3.5.3.	Montaje e instalación	58
3.5.4.	Cálculo de la dosis de cloro a inyectar.....	59
3.5.5.	Punto de medición de la muestra	60
3.5.6.	Equipo a utilizar para la medición de la muestra.....	61
3.5.7.	Método a utilizar para la medición de cloro.....	61
3.5.8.	Sistema de pesaje	63
3.5.9.	Detectores de fugas	64
4.	OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	67
4.1.	Determinación del caudal de agua de ingreso al tanque	67
4.2.	Análisis microbiológico, físico y químico del agua	68
4.3.	Evaluación de la cantidad de cloro a dosificar	70
4.4.	Hoja de cálculo para el sistema dosificador.....	74
4.5.	Calibración del dosificador	75
4.6.	Funcionamiento del inyector.....	76
4.7.	Analizador de cloro residual	78
4.8.	Monitoreo del sistema de cloración	79
5.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN.....	81
5.1.	Mantenimiento preventivo	82
5.2.	Mantenimiento predictivo	86
5.2.1.	Factores a considerar para la ampliación del sistema.....	87
5.3.	Costo de mantenimiento anual.....	88
5.4.	Procedimiento para la revisión del funcionamiento del dosificador de cloro gas	89
6.	MANEJO SEGURO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN	93
6.1.	Procedimiento para el transporte y manejo de cloro.....	93

6.2.	Método de control de emergencia para el manejo de los equipos de cloro gas.....	95
6.3.	Identificación y detección de fugas	97
6.4.	Equipos para control de fugas de cloro gas	100
6.4.1.	Descripción de los equipos de protección personal	100
6.4.2.	Descripción general de los componentes del kit A de emergencia de cloro gas.....	102
6.4.3.	Proceso de ensamble del equipo para tres tipos de fugas comunes en cilindros de cloro gas.....	104
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES.....		113
BIBLIOGRAFÍA.....		115
ANEXOS		119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista aérea ubicación tanque Labor de Castilla.....	3
2.	Panel control bomba	4
3.	Caseta control de bomba	5
4.	Tubería de conducción.....	5
5.	Sistema de bombeo	6
6.	Tanque Labor de Castilla	6
7.	Caseta tanque Labor de Castilla	7
8.	Vista aérea ubicación pozo Labor de Castilla	10
9.	Sistema cloración actual	11
10.	Sistema cloración por tabletas	16
11.	Sistema de inyección de cloro por tabletas e instalación.....	17
12.	Comparador cloro residual	18
13.	Desinfección por ozono.....	23
14.	Desinfección por dióxido de cloro.....	26
15.	Modelo GPS utilizado.....	31
16.	Levantamiento topográfico sistema conducción	34
17.	Relación pH, HClO y ClO ⁻	36
18.	Sistema cloración cloro gas a instalar	48
19.	Montaje dosificador cilindro cloro gas.....	49
20.	Esquema dosificador cloro gas y eyector	51
21.	Cilindros cloro gas.....	52
22.	Partes del regulador de vacío.....	53
23.	Flujo de gas por sistema regulador	54

24.	Cierre sistema flujo por regulador	55
25.	Partes del dosificador de cloro gas	56
26.	Eyector cloro gas	56
27.	Esquema del intercambiador de cloro gas	57
28.	Fotómetro eléctrico con pantalla	61
29.	Sistema pesaje cilindros cloro gas	63
30.	Dimensiones del sistema de pesaje para cilindro cloro gas	64
31.	Accesorios para detectar fugas cloro gas	65
32.	Medidor turbina tipo Woltman Bermad	68
33.	Condiciones de un cilindro 150 lbs cloro gas	72
34.	Temperatura y presión para remoción gas en cilindros	73
35.	Analizador de cloro residual	78
36.	Diagrama instalación rotámetro remoto y dosificador	90
37.	Diagrama instalación rotámetro y dosificador juntos	91
38.	Placas de advertencia para camiones que transportan cloro	94
39.	Fuga válvula retención, asiento válvula, y rosca válvula admisión	98
40.	Fuga en perno de válvula, rotura en válvula y daño en rosca	98
41.	Fuga en rosca fusible y fusible tapón de metal	99
42.	Fuga en paredes de cilindro	99
43.	Aparato respirador tipo cartucho	100
44.	Equipo autocontenido	101
45.	Ducha y lava ojos	102
46.	Ensamble para una fuga en la capucha de la válvula	104
47.	Ensamble para una fuga en la abrazadera	105
48.	Fuga en paredes laterales de cilindro cloro gas	106

TABLAS

I.	Análisis microbiológico de agua, pozo Labor de Castilla	9
II.	Análisis fisicoquímico de agua, pozo Labor de Castilla	9
III.	Análisis microbiológico tanque Labor de Castilla	14
IV.	Análisis fisicoquímico de agua tanque Labor de Castilla	14
V.	Comparación sistemas desinfectantes	28
VI.	Estaciones del sistema de bombeo	32
VII.	Análisis microbiológico II, tanque Labor de Castilla	39
VIII.	Análisis fisicoquímico II, tanque Labor de Castilla	39
IX.	Costos de los equipos	46
X.	Aforo ingreso caudal tanque Labor de Castilla	67
XI.	Análisis microbiológico III, tanque Labor de Castilla	69
XII.	Análisis fisicoquímico III, tanque Labor de Castilla	69
XIII.	Tiempo de inactivación en relación con pH y concentración	71
XIV.	Hoja para toma de datos del dosificador	75
XV.	Componentes equipo emergencia para cilindros 150 lbs	103

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl	Ácido clorhídrico
HClO	Acido hipocloroso
pH	Alcalinidad de una disolución
gpd	Galones por día
gph	Galones por hora
gpm	Galones por minuto
gps	Galones por segundo
°C	Grados centígrado
g/h	Gramo por hora
H	Hidrógeno
ClO⁻	Ion hipoclorito
kg	Kilogramo
kg/h	Kilogramo por hora
km	Kilometro
lb	Libra
lb/día	Libra por día
psi	Libra por pulgada cuadrada
DPD	Método de medición residual de oxidante ¹ N,N-dietil-p-fenilendiamina
m³/año	Metro cúbico por año
m³/h	Metro cúbico por hora
m³/mes	Metro cúbico por mes
m	Metros

mca	Metros de columna de agua
uS/cm	Microsiemens por centímetro
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitro
mV	Milivoltios
N/A	No aplica
%	Porcentaje
GPS	Sistema posicionamiento global
Tc	Tiempo contacto
THM	Trihalometano
UV	Ultravioleta
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez o turbiedad
UFC	Unidades formadoras de colonia
ppm	Partes por millón

GLOSARIO

Amonia	Vapor de amoniaco.
<i>Bypass</i>	Flujo modificado hacia una ruta alternativa.
Cloro	Elemento normalmente encontrado como un gas amarillento verdoso aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire.
Cloro gas	Es el elemento cloro en estado gaseoso.
Cloro residual	La cantidad remanente de cloro luego de un determinado tiempo de contacto con el agua a tratarse.
Costos	Gasto económico que presenta la fabricación de un producto o la presentación de un servicio.
Demanda de cloro	La cantidad de cloro consumida en el proceso de desinfección.
Desinfección	Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos o sustancias químicas.

Desinfectante	Elemento químico que se utiliza para destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y números de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a tratar.
Dosificador	Dispositivo que descarga un producto químico a una frecuencia predeterminada en el tratamiento de agua. La dosis se puede modificar manualmente o bien automáticamente por cambios en el caudal.
DOT	<i>Department of transportation</i> (Siglas Departamento de Transporte para la Reglamentación del Transporte de Cilindros de Cloro Gas).
Dosis	Cantidad de cloro adicionada al agua en ppm o mg/l.
Instalación	Conjunto de acciones que se efectúan para implementar las partes del sistema de desinfección.
Mantenimiento	Conjunto de acciones adecuadas y oportunas que se realizan para que todas las partes del sistema funcionen en forma continua.
Operación	Conjunto de acciones adecuadas y oportunas que se efectúan para que todas las partes del sistema funcionen en forma continua.
Partes por millón	Se refiere a la cantidad de desinfectante en miligramos para cada litro de agua (mg/l).

Rotámetro	Dispositivo incorporado al clorador, en el cual se calibra la cantidad necesaria de cloro a dosificar.
Técnico	Persona calificada y responsable de la instalación del sistema de desinfección.
UFC	Unidades formadoras de colina por mililitro.
Virucidad	Sustancia química que destruye o inactiva partículas víricas.
Vitón	Empaque fluoroelastómeros de alta resistencia.
Waypoint	Punto de paso o punto de referencia.

RESUMEN

La cloración ha desempeñado una función muy importante desde hace muchos años en la protección de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua en abastecimientos de agua potable.

Por ello los sistemas de desinfección de cloro gas se han convertido en una alternativa a considerarse en las poblaciones que no cuentan con sistemas de desinfección.

Este tipo de elementos conjuga una serie de elementos técnicos, educativos y de gestión comunitaria para mejorar la calidad de agua, con el objetivo de disminuir las enfermedades de origen hídrico.

En la actualidad ABASTESA emplea sistemas de cloración por medio de tabletas de cloro, las cuales son erosionadas por el flujo de caudal que pasa a través de ellas.

El control en la dosificación de cloro no es exacto en este método de desinfección, por lo mismo, el cloro residual estipulado por las normas guatemaltecas puede generar errores.

Se realizará un estudio de campo para conocer las diferentes variables para la selección del sistema de cloración a gas adecuado.

Se desarrollará tomando los datos generales e históricos del tanque Labor de Castilla el cual es el más importante para este acueducto privado y será el plan piloto para mejorar su red de distribución.

Posterior a esto se examinará la selección, instalación, operación, mantenimiento y seguridad operacional de los equipos de desinfección de cloro gas y poder brindar una solución confiable para el sistema de distribución y conducción de agua potable.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta, para el diseño de un equipo de desinfección de cloro gas en un sistema de distribución de agua, mediante un estudio analítico- técnico y los cálculos necesarios para el mismo.

Específicos

1. Proveer información técnica sobre los sistemas de cloro gas.
2. Proponer una solución tecnológica en desinfección.
3. Establecer los requerimientos para el diseño de un sistema de desinfección para el tanque Labor de Castilla.
4. Establecer un plan para la operación segura de los equipos de desinfección de cloro gas.
5. Plantear los requisitos que son necesarios en la puesta en marcha de un sistema de desinfección de cloro gas.
6. Proponer mecanismos de acción, que permitan prevenir accidentes relacionados con el manejo de cloro.
7. Indicar los procedimientos a seguir en emergencias, en el proceso de dosificación.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se ha reconocido que los sistemas de cloración para los servicios de agua potable son de los avances más significativos para la protección de la salud pública, pues permiten la eliminación de enfermedades transmitidas por el agua. Actualmente en Guatemala las normas COGUANOR NGO 29.001.98 indican los parámetros para el cuidado de la salud y el ambiente, pero no existe una entidad que regule los procedimientos para la selección adecuada de los sistemas de desinfección.

Por ello es importante la creación de un documento que exponga un caso que sirva de ejemplo para la toma de decisiones al momento de diseñar un sistema de desinfección de cloro gas, para cualquier entidad pública y privada que tenga a su cargo la distribución del vital líquido.

En el desarrollo del contenido se analizará el nivel de conocimiento por parte de la institución en este tipo de método de desinfección, así como el proceso para seleccionar, instalar, operar, dar mantenimiento y las medidas de seguridad en el medio ambiente, basándose en todos los aspectos teóricos, prácticos y técnicos, así como los diferentes factores que influyen en la selección de un sistema de desinfección de cloro gas.

Esto será de mucha utilidad a todo estudiante universitario o profesional que trabaje en entidades que velen por la distribución y monitoreo del agua.

1. ANTECEDENTES GENERALES

El agua potable es un bien necesario pero escaso. A pesar de que el agua es la sustancia más abundante y común en nuestro planeta (ya que cubre el 71% de su superficie) el 97.3% de esta se encuentra contenida en los océanos. Del 2.7% restante, aproximadamente el 2.1% se halla en los casquetes polares y en glaciares y solo el 0.61% es agua dulce líquida. De esta última, alrededor del 0.60% se encuentra en acuíferos subterráneos, de difícil acceso mientras que solo el 0.009% constituye agua dulce superficial (ríos y lagos). Aún más, solamente el 0.003% del total, es agua dulce disponible para ser usada con fines domésticos.

El agua potable es un bien muypreciado y escaso que se ha de consumir y administrar correctamente; es por ello la importancia de poder crear mecanismos de concientización a la población de la importancia de la misma y poder informar el costo en que incurre cualquier institución que se encargue de la distribución y conducción de agua, así como la importancia de llevar un control en el sistema de cloración.

1.1. Referencias del tanque Labor de Castilla

En nuestro país, se construyen generalmente dos tipos de sistema de abastecimiento de agua para la población: por bombeo y gravedad. La operación de un sistema de abastecimiento de agua comprende un conjunto de actividades que se desarrollan en los diferentes elementos componentes del mismo, las que se ejecutan de manera cotidiana, para cumplir un eficiente suministro de agua a la población.

En ABASTESA se utilizan los dos métodos para el tanque Labor de Castilla, que es uno de los principales sistemas de distribución de agua potable; este tiene una capacidad de almacenamiento de 560 metros cúbicos (560 m³). Se encuentra a 2,025 metros sobre el nivel del mar. Está construido en toda su estructura por concreto reforzado.

En la actualidad cuenta con sistemas de control de caudal y de desinfección de cloro, los cuales no llenan los requisitos necesarios para un sistema de distribución de agua potable.

El punto principal para este análisis es el control del caudal, el cual ayuda al momento de los ajustes necesarios en la dosificación del químico, así como planeación y ejecución de programas de mantenimiento. Lo más importante es conocer los patrones de consumo horario, diario y semanal, además de poder evaluar las condiciones hidráulicas reales de funcionamiento del sistema.

1.2. Generalidades del tanque Labor de Castilla

Para la entidad ABASTESA es muy importante mantener toda la red de distribución en óptimas condiciones y uno de los principales problemas es llevar el control del sistema de cloración que garantice mantener los parámetros de cloro residual que son monitoreados por el Ministerio de Salud, según la norma Coguanor.

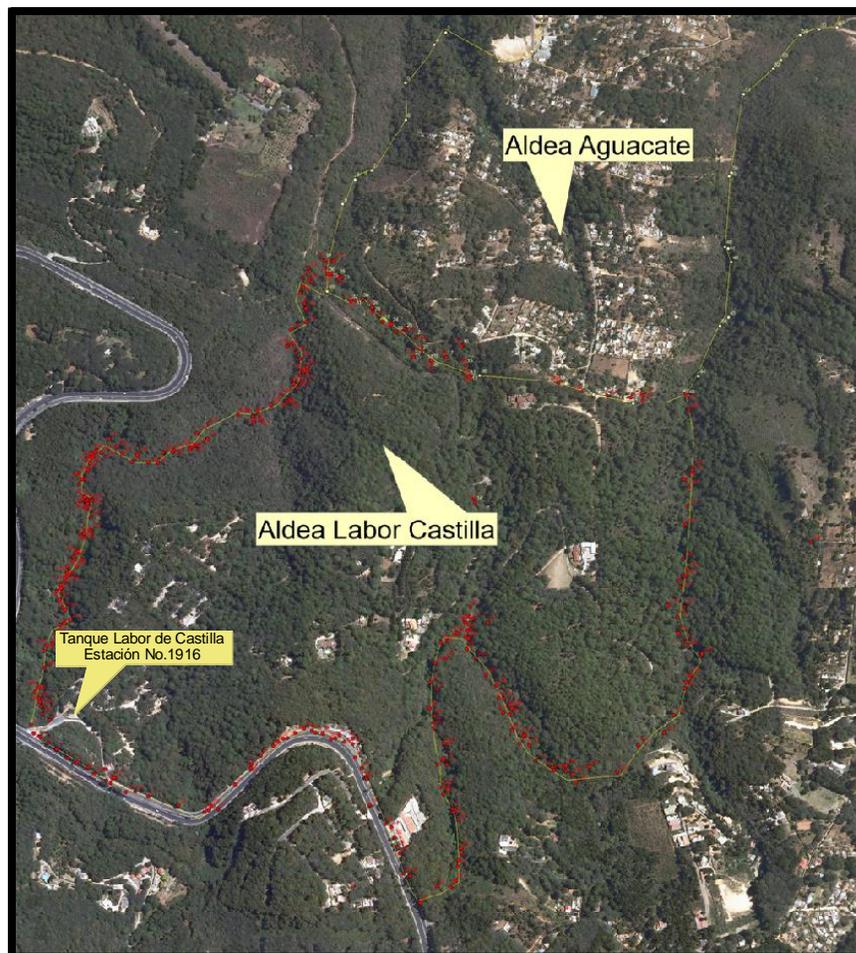
Uno de los tanques de mayor captación es el tanque Labor de Castilla, el cual está propenso a la contaminación de bacterias de origen externo e hídrico, por lo cual es importante instalar un sistema de cloro gas; este es el único que se encuentra en un 100% de contenido de cloro.

Los otros sistemas presentan una concentración menor, los cuales pueden presentar problemas al momento de realizar la mezcla en el tanque.

1.2.1. Ubicación

Está ubicado en el kilómetro 24, carretera CA-1 Panamericana, hacia Antigua Guatemala.

Figura 1. Vista aérea ubicación tanque Labor de Castilla



Fuente: www.maps.google.com. Consulta: abril de 2013.

1.2.2. Población que se abastece

El tanque está diseñado para abastecer a una población de aproximadamente 1,200 personas que incluye a las comunidades Lo de Coy, San Andresito, La Granja, aldea El Aguacate, Labor de Castilla I y II, Los Pinos, Nueva Vida, Empagua y Las Vacas.

1.2.3. Infraestructura actual

ABASTESA cuenta con los siguientes elementos:

- Bomba sumergible que alimenta tanque Labor de Castilla las 24 horas, los 7 días de la semana, con una capacidad de 350 gpm, a una presión de trabajo de 165 psi.

Figura 2. **Panel control bomba**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

Figura 3. **Caseta control de bomba**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

- Tubería de hierro galvanizado con un diámetro de 4 pulgadas, con una longitud total de 363.89 metros.

Figura 4. **Tubería de conducción**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

- Válvula de compuerta marca NIBCO cuerpo de bronce con un diámetro de 4 pulgadas.

Figura 5. **Sistema de bombeo**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

- Tanque concreto reforzado de almacenamiento de agua con capacidad de 560 metros cúbicos.

Figura 6. **Tanque Labor de Castilla**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

- Caseta de block con capacidad de almacenar un sistema de dosificación cloro.

Figura 7. **Caseta tanque Labor de Castilla**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

1.2.4. Disponibilidad de mano de obra calificada

Un factor importante a considerar al momento de instalar un sistema de cloración, es la participación del 100% de las personas encargadas del sistema de desinfección. Es por ello la importancia en involucrarse en la selección de la tecnología a instalar en los sistemas de abastecimiento de agua.

La participación se ha de incorporar en todo el ciclo del proyecto desde la identificación del problema, la selección, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de los equipos.

Aspectos como la organización social de la comunidad, sus conocimientos, creencias, prácticas, formas de trabajo, la religión, son algunas de las premisas importantes a considerar al momento de trabajar este tipo de proyectos.

En estos momentos ABASTESA cuenta con diez (10) personas involucradas en la operación del sistema actual de desinfección, capacitadas e involucradas al 100% para el buen funcionamiento de los equipos, dispuestas a desarrollar nuevas habilidades al momento de instalar nuevas tecnologías.

1.2.5. Consumo diario para el tanque Labor de Castilla

El tanque de Labor de Castilla tiene un consumo diario entre 800 a 1,200 metros cúbicos diarios para las diferentes comunidades que abastece.

1.2.6. Análisis microbiológico, físico y químico del agua

La importancia del agua como vehículo para la transmisión potencial de enfermedades es la preocupación principal en el control de la calidad de agua para ABASTESA. Para ello es importante realizar tomas de muestras del agua, las cuales deben estar acordes a la norma guatemalteca obligatoria de agua potable COGUANOR NGO 29.001.98.

Los parámetros obtenidos del análisis físico químico y microbiológico del agua se recogen en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla I. **Análisis microbiológico de agua, pozo Labor de Castilla**

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA		
Análisis	Resultados muestra	ESPECIFICACIONES
Recuento aeróbico total	Menor de 1 UFC/ml	Menor de 500 UFC/ml
Coliformes totales	Menor de 1 UFC/ml	Menor de 1 UFC/ml
Escherichia coli	Ausencia	Ausencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Análisis fisicoquímico de agua, pozo Labor de Castilla**

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA		
Análisis	Resultado Muestra	Límite máximo permisible
pH	7.06	6.5 - 8.5
Color	0.0 u	35.0 u
Turbidez	2.1 NTU	15.0 NTU
Calcio	23 mg/L	150.0 mg/L
Cobre	0.06 mg/L	1.5 mg/L
Conductividad eléctrica	165.3 uS/cm	Menor de 1500 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	30 mg/L	500 mg/L
Hierro	0.09 mg/L	1.0 mg/L
Manganeso	0.01 mg/L	0.5 mg/L
Nitratos	0.85 mg/L	10 mg/L
Nitritos	0.02 mg/L	1 mg/L
Sólidos totales disueltos	168 mg/L	1000 mg/L

Fuente: elaboración propia.

Las especificaciones están basadas según la norma COGUANOR NGO 29.001.98 agua potable, especificaciones. La metodología está basada en la norma COGUANOR y *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association (APHA)*. 20th Ed. USA. 1998.

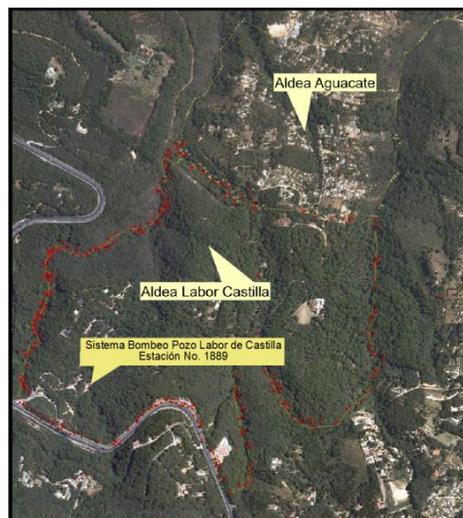
1.2.7. Principales fuentes que abastecen el tanque Labor de Castilla

Las fuentes pueden ser subterráneas, manantiales y superficiales. En el caso del tanque Labor de Castilla es subterránea, por medio de un pozo perforado.

La única fuente que abastece al tanque es un pozo mecánico que se encuentra en el interior de la finca Labor de Castilla en el kilómetro 24, carretera CA-1, a una altitud de 1895 metros sobre el nivel del mar. Este pozo tiene una capacidad de bombear 350 galones por minuto.

La tubería de conducción es de 4" de diámetro nominal en material acero galvanizado, con una longitud total hasta el tanque Labor de Castilla de 362.89 metros.

Figura 8. Vista aérea ubicación pozo Labor de Castilla



Fuente: www.maps.google.com. Consulta: abril de 2013.

1.2.8. Tipo y concentración de desinfección utilizada

En la actualidad es utilizado el sistema de dosificación de hipoclorito de calcio seco en tabletas, con contenido de cloro con una concentración del 65% de cloro activo. Este sistema se adoptó como una opción de desinfección acorde a los requerimientos de la zona por las ventajas que ofrece: no necesita energía; tiene un sistema sencillo de operar; las tabletas de hipoclorito de calcio son fáciles de transportar, seguras de almacenar y manejar; el costo es relativamente bajo. El dosificador utilizado en el tanque Labor de Castilla, pertenece al grupo de dosificadores por erosión de tabletas, a base de hipoclorito de calcio, instalado en los sistemas de abastecimiento de agua.

Figura 9. **Sistema cloración actual**



Fuente: instalaciones de Labor de Castilla, empresa ABASTESA.

1.3. Situación de ABASTESA

Este acueducto es un operador administrador y prestador del servicio público domiciliario de acueducto mediante inversión privada.

ABASTESA tiene como política el compromiso con el desarrollo de la región y la transformación hacia la excelencia en la prestación del servicio de acueducto.

1.3.1. Características generales de ABASTESA

ABASTESA es una empresa 100% privada, la cual presta los servicios generales de conducción y distribución de agua potable a sus usuarios.

La misma se encarga que la calidad del agua sea acorde a las normas que están vigentes en Guatemala. Todos los tanques se desinfectan por medio de métodos de tabletas de cloro, los cuales no presentan un funcionamiento adecuado para el tipo de sistema de distribución.

1.3.1.1. Ubicación

La empresa privada ABASTESA está ubicada en el kilómetro 19.5 carretera Satélite, finca Labor de Castilla, Zona 9 de Mixco, Guatemala. Está ubicada al extremo oeste de la ciudad capital; colinda al norte con San Pedro Sacatepéquez; al oeste con Chinautla y Guatemala; al sur con Villa Nueva, y al oeste con San Lucas Sacatepéquez. Muestra una topografía quebrada en un 75% de su territorio.

1.3.1.2. Información básica del acueducto privado ABASTESA

En el año 2008 entró en funcionamiento con nueva administración como operador, administrador y prestador del servicio privado de conducción y distribución de agua potable ABASTESA.

Mediante la inversión privada se comprometió a prestar este valioso servicio a las diferentes comunidades de la zona. ABASTESA es una compañía privada con capital 100% privado.

Los socios tienen como política el compromiso con el desarrollo de la región y la transformación hacia la excelencia en la prestación de los servicios de conducción y distribución agua potable.

1.3.1.3. Compromiso de ABASTESA

El compromiso adquirido por ABASTESA se basa en el cumplimiento de: la calidad de agua, continuidad, presión, cobertura, índice de agua no contabilizada y porcentaje de recaudo.

1.3.1.4. Estado actual de ABASTESA

ABASTESA cuenta actualmente con más de 5,000 usuarios surtiendo a la población urbana y rural y con una continuidad de 24 horas, los 7 días de la semana.

1.3.1.5. Situación actual de la calidad de agua en ABASTESA

Para determinar la calidad del agua se realizó un análisis fisicoquímico del agua en el tanque Labor de Castilla, además de su análisis microbiológico. En la siguiente tabla se resumen estos resultados.

Tabla III. **Análisis microbiológico tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA		
Análisis	Resultados Muestra	ESPECIFICACIONES
Recuento aeróbico total	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 500 UFC/ml
Coliformes totales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Coliformes fecales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Escherichia coli	Ausencia	Ausencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Análisis fisicoquímico de agua tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA		
Análisis	Resultado muestra	Límite máximo permisible
pH	7.38	6.5 - 8.5
Color	0.0 NTU	35.0 u
Turbidez	1.7 NTU	15.0 NTU
Calcio	32.0 mg/L	150.0 mg/L
Cloro residual libre	0.48 mg/L	1 mg/L
Cobre	menor de 0.05 mg/L	1.5 mg/L
Conductividad eléctrica	393.0 uS/cm	Menor de 1500 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	160.0 mg/L	500 mg/L
Hierro	0.02 mg/L	1.0 mg/L
Manganeso	0.05 mg/L	0.5 mg/L
Nitratos	0.96 mg/L	10 mg/L
Nitritos	menor de 0.010 mg/L	1 mg/L
Sólidos totales disueltos	391.0 mg/L	1000 mg/L

Fuente: elaboración propia.

1.3.1.5.1. Métodos que utilizan en la actualidad

En estos momentos es utilizado el método de desinfección por tabletas de hipoclorito de calcio. En cuanto a la operación y mantenimiento del equipo, el flujo del cloro se mezcla directamente con el agua que entra a la unidad y a la válvula que controla el flujo; se requiere de poca limpieza, en largos periodos de tiempo. El funcionamiento del dosificador inicia cuando el agua cruda ingresa al dosificador por una tubería de ½ pulgada. Entonces, el agua entra en contacto con las pastillas de cloro, las disuelve y sale la solución de cloro por la tubería de 1 ½ pulgada hasta el tanque de distribución.

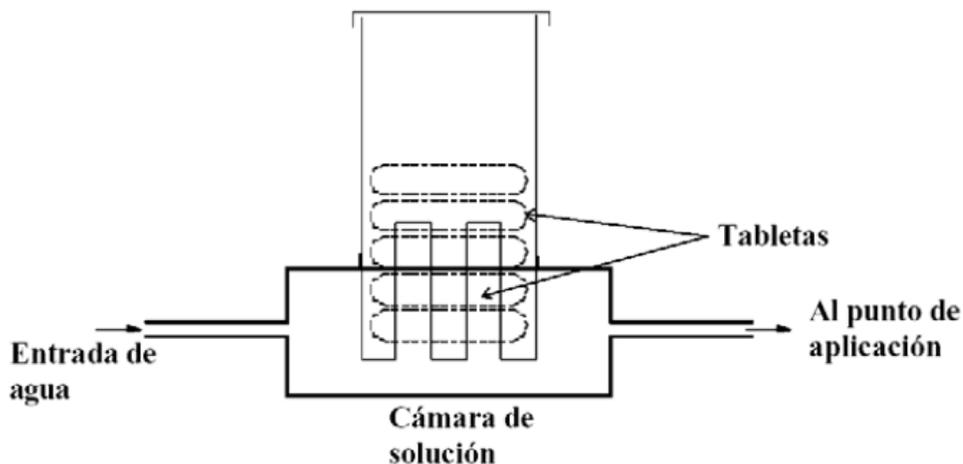
Es importante tener en cuenta que los dosificadores no funcionan bajo presión, así que la presión de entrada ha de ser de un máximo de 30 psi. Funciona con caudales entre 0,1 litros por segundo y 20 litros por segundo; necesita tubería principal única y de PVC; el agua ha de estar almacenada en el tanque durante un tiempo mínimo de 30 minutos para que el cloro pueda actuar. El tanque Labor de Castilla trabaja bajo los siguientes lineamientos en la actualidad:

- Requisitos: estos dispositivos no requieren energía, son sencillos de operar y facilitan la dosificación porque las tabletas tienen una concentración constante de cloro.

- Rango de aplicación:
 - Para caudales entre 0.1 a 20 litros/segundo
 - Turbiedad < 5 UNT.

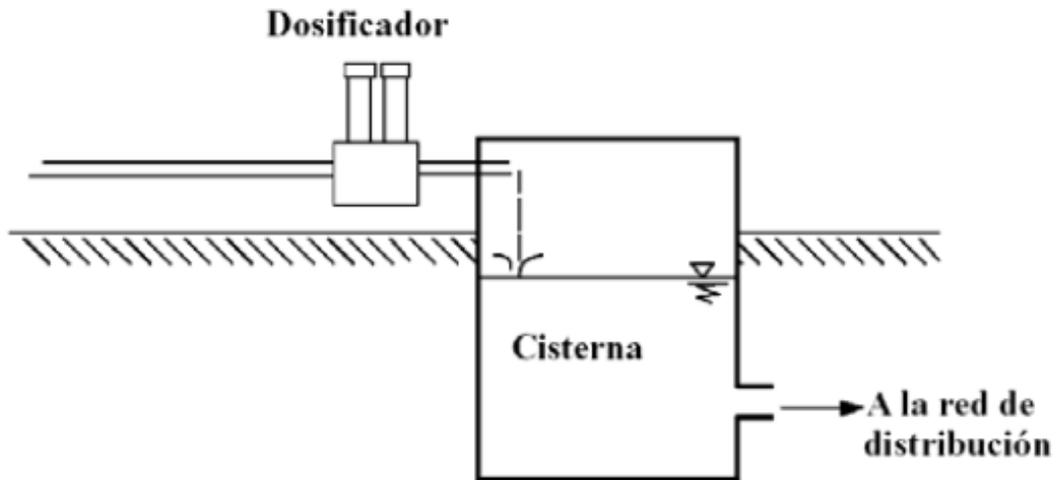
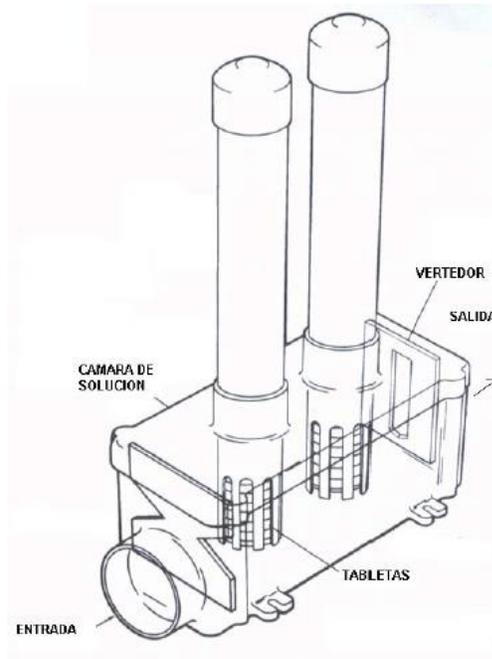
- No deberá haber interrupciones prolongadas en el suministro de agua.
- Acceso a las tabletas de calcio.
- Montaje e instalación: la instalación de esta clase de dispositivos de dosificación requiere un adiestramiento especializado mínimo. En la mayoría de los casos se puede adiestrar a un operador con conocimientos básicos de plomería y tuberías. Aunque los dispositivos de dosificación están hechos de materiales no corrosivos y no tienen partes móviles, es preciso prestar atención a las instrucciones del fabricante para asegurar la durabilidad y una operación adecuada de acuerdo con las especificaciones. También se debe prestar atención a la temperatura de trabajo, ya que la solubilidad de las tabletas depende en general de la temperatura del agua.

Figura 10. **Sistema cloración por tabletas**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

Figura 11. Sistema de inyección de cloro por tabletas e instalación



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

1.3.1.5.2. Tipo de análisis que utilizan para determinar la cantidad de cloro residual

En la actualidad utiliza un comparador de cloro residual tipo comparador de disco, el cual utiliza un reactivo para poder determinar el contenido de cloro residual y total en el agua. Esta trabaja con un pequeño disco con vidrios coloreados; lo compone una caja con un lente ocular en la parte frontal y dos celdas; el conjunto está dispuesto de tal manera que ambas celdas están en el campo de visión de lente ocular.

Una celda, que contenga una muestra de agua sin los reactivos, se coloca en línea con los vidrios coloreados giratorios. La muestra de agua con el reactivo se coloca en otra celda. Si existe cloro libre presente, se desarrolla un color. La concentración de cloro se estima comparando los colores de ambas celdas, según se ve a través del lente ocular. Cada color del disco corresponde a cierta cantidad de cloro en el agua.

Figura 12. **Comparador cloro residual**



Fuente: empresa ABASTESA.

1.3.1.6. Características físicas de la zona

ABASTESA se encuentra aproximadamente a 1730 metros sobre el nivel del mar; posee una precipitación anual de 1,000 milímetros. Su temperatura es de 20° centígrados promedio anual y un porcentaje de humedad de 55%. Su clima es templado la mayor parte del año, pero en invierno, la temperatura tiende a bajar. Por el nivel del mar en que se encuentra (niveles de altitud) es el hábitat de especies como: abeto blanco, secuoya, cedro, pino, así como una infinidad de musgos y flores naturales.

1.3.1.7. Servicios de agua potable

El tanque Labor de Castilla distribuye agua a más de 1,200 personas en diferentes comunidades, con 200 servicios registrados en su base de datos. Con proyección a un incremento anual de 50 usuarios.

2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

La desinfección de los abastecimientos comunitarios de agua es una medida esencial de salud pública que data de principios de siglo XX, y su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica. El tratamiento adecuado y la desinfección fiable de agua permitieron reducir considerablemente la incidencia de la tifoidea y el cólera en muchos países, antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas. En todos los lugares donde se ha realizado adecuadamente la desinfección del agua, se han obtenido beneficios en la salud de los usuarios.

La desinfección es importante, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde puede ser la única forma de tratamiento asequible.

Actualmente, el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable mediante la destrucción de los agentes patógenos y además, que mantenga una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento de agua, suprimiendo de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua.

El objetivo de esta guía es proporcionar información y conceptos actualizados, y las herramientas necesarias para la selección adecuada del sistema de desinfección del agua en sistemas de abastecimiento.

Para tal efecto, la guía incluye información sobre los aspectos generales relacionados con la desinfección, características del desinfectante y métodos de desinfección, entre las cuales se destaca la cloración como desinfección, tipos de sistemas aplicables al ámbito y finalmente consideraciones para su selección.

2.1. Breve descripción de los diferentes métodos alternativos de desinfección

Los diferentes sistemas de desinfección tienen atributos importantes como germicida potente, que si se utilizan correctamente, reducen el nivel de los microorganismos en el agua potable, los que causan enfermedades. Allí radica la importancia de conocer cada uno de los más utilizados, acordes a las características del proyecto.

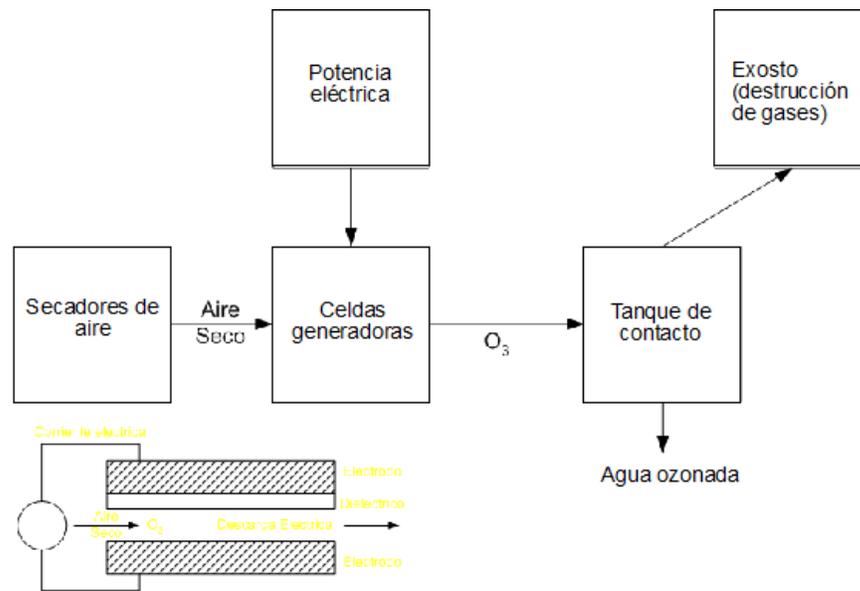
2.1.1. Ozono

Durante varios decenios en Europa se ha usado el ozono para el control de sabor y olor, así como para remoción de colores y desinfección.

- Ventajas:
 - Desinfecta y oxida muy eficazmente
 - Mejora la remoción de turbiedad bajo ciertas condiciones
 - Controla el sabor y olor
 - Desactiva agentes patógenos conocidos
 - No produce ningún THM u otros subproductos clorados

- Desventajas
 - Produce subproductos de desinfección
 - No proporciona un residuo permanente
 - Requiere inversión de capital
 - Promueve el crecimiento bacteriano
 - Ocasionalmente plantea problemas de olor y sabor

Figura 13. **Desinfección por ozono**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

2.1.2. Radiación ultravioleta

Este proceso incluye exposición del agua a la radiación ultravioleta que desactiva diversos microorganismos. La técnica se ha aplicado cada vez más para el tratamiento de agua residual, pero su aplicación ha sido muy limitada en el tratamiento de agua potable.

- Ventajas:
 - No requiere almacenamiento químico, manejo o equipo de alimentación
 - No requiere subproductos identificados de desinfección

- Desventajas:
 - No hay acción residual
 - Requisitos altos de mantenimiento
 - Elevados costos operativos (energía)
 - La acción de desinfección puede estar comprometida por variables tales como claridad de agua, dureza, longitud de las ondas de radiación ultravioleta o falta de energía

2.1.3. Dióxido de cloro

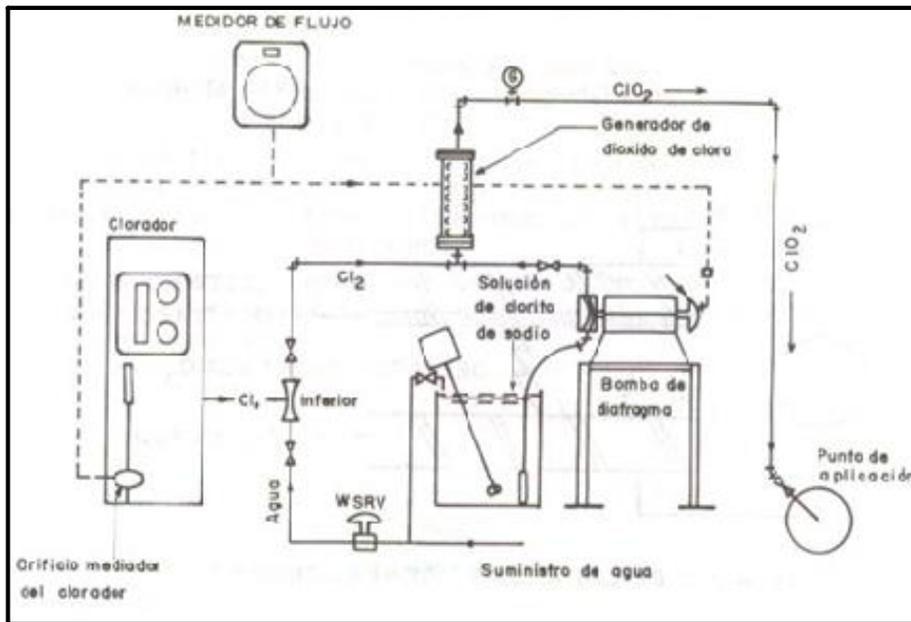
El dióxido de cloro se genera en las instalaciones de tratamiento de agua. La popularidad del dióxido de cloro como un desinfectante de agua aumentó en los años setenta, cuando se descubrió que no promovió la formación de THM (los trihalometanos se forman con numerosos subproductos de la desinfección, cuando el cloro reacciona con la materia orgánica en el agua, la cual se compone fundamentalmente de cuatro sustancias químicas: el cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo).

- Ventajas:
 - Actúa como una excelente sustancia virucida.

- No reacciona con nitrógeno amoniacal para formar aminas cloradas.
- No reacciona con material oxidante para formar THM; destruye hasta 30% de los precursores del THM.
- Destruye los fenoles que causan problemas de gusto y olor en los abastecimientos de agua potable.
- Desinfecta y oxida eficazmente, incluyendo la buena desinfección de Giarda y Cristosporido.
- Dosificación baja en el paso de posdesinfección sin necesidad de repeticiones.
- Mejora la remoción del hierro y manganeso por oxidación y sedimentación rápida de compuestos oxidados.
- No reacciona con bromuro para formar bromato o subproductos del bromo.
- Desventajas:
 - Se descompone en subproductos inorgánicos. El dióxido de cloro se descompone en clorito y en menor grado en ion de clorato.
 - Requiere equipo de generación y manejo de productos químicos en el lugar.

- Ocasionalmente plantea problemas de olor y sabor.

Figura 14. **Desinfección por dióxido de cloro**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

2.1.4. **Cloraminas**

En este proceso se agrega amoníaco y compuestos de cloro a una planta de filtración de agua. Cuando se controla adecuadamente, la mezcla forma cloraminas. Estas se usan comúnmente para mantener un residuo en el tratamiento de distribución del sistema posterior con un desinfectante más potente, como el cloro libre.

- Ventajas:
 - Residuo persistente

- Minimización de sabores y olores
- Niveles inferiores de formación de subproductos
- Desinfección eficaz de biopelículas en el sistema de distribución

- Desventajas
 - Produce subproductos de desinfección, incluidos los compuestos basados en nitrógeno, así como el hidrato de cloral que se puede reglamentar como un SPD en el futuro. Hay escasa información sobre la toxicidad de los subproductos de desinfección de cloramina. En un análisis de los efectos sobre la salud de las opciones, Bulí y Kopfler (1991) sostienen que "existe poca información sobre la cual basar un cálculo del riesgo para la salud que plantea la cloramina".
 - Presenta problemas a los individuos en las máquinas de diálisis. Los residuos de cloramina en el agua del grifo pueden pasar por membranas en las máquinas de diálisis e inducir directamente el daño oxidante a los eritrocitos.
 - Causa irritación en los ojos. La exposición a altos niveles de cloramina puede irritar los ojos.
 - Requiere mayor dosificación y tiempo de contacto (valores mayores de TC, por ejemplo, el tiempo de concentración x).
 - Tiene valores dudosos, como germicida viral y parasitario.

- Puede promover el crecimiento de algas en reservorios y el aumento en bacterias del sistema de distribución, debidas al amoníaco residual.
- Proporciona capacidades más débiles de oxidación y desinfección que el cloro libre.

Tabla V. **Comparación sistemas desinfectantes**

Desinfectantes	Eficacia de desinfección	Mantenimiento de residuos	Estado de información en la química del subproducto	Remoción de colores	Remoción de olores comunes
Cloro	Bueno	Bueno	Adecuado	Bueno	Bueno
Cloraminas	Pobre	Bueno	Limitado	Inadmisible	Pobre
Dióxido de cloro	Bueno	Inadmisible	Adecuado	Bueno	Bueno
Ozono	Excelente	Inadmisible	Limitado	Excelente	Excelente
Radiación ultravioleta	Acertado	Inadmisible	Nulo	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.

2.2. Consideraciones específicas

Al mencionar los datos específicos a considerar, se hace referencia a toda la recopilación inicial de datos que son necesarios para conocer el estado actual del sistema de distribución de agua y poder analizarlos, tales como: el levantamiento topográfico, el análisis químico-físico del agua y las características del químico, para empezar a entender el funcionamiento de un sistema de desinfección.

2.2.1. Levantamiento topográfico por medio de equipo GPS

Se presentarán los diferentes datos a lo largo de la ruta para el paso de la tubería del sistema de abastecimiento de agua por medio de un GPS, siendo este último el que más utilizarán al ser el más simple en este tipo de construcciones de sistemas.

2.2.2. Breve explicación del funcionamiento del equipo GPS

El GPS o sistema de posicionamiento global, 'Global Positioning System', es un sofisticado sistema de orientación y navegación, cuyo funcionamiento está basado en la recepción y procesamiento de las informaciones emitidas por una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, orbitando en diferentes alturas, a unos 20.000 km. por encima de la superficie terrestre.

Los satélites transmiten continuamente su situación orbital y la hora exacta. El tiempo transcurrido entre la emisión de los satélites y la recepción de la señal por parte del receptor GPS se convierte en distancia mediante una simple fórmula aritmética (el tiempo es medido en nanosegundos).

Al captar las señales de un mínimo de tres satélites, por triangulación, el receptor GPS determina la posición que ocupa sobre la superficie de la tierra mediante el valor de las coordenadas de longitud y latitud (dos dimensiones). Dichas coordenadas pueden venir expresadas en grados, minutos y/o segundos o en las unidades de medición utilizadas en otros sistemas geodésicos. La captación de cuatro o más satélites facilita, además, la altura del receptor respecto del nivel del mar (tres dimensiones). Las coordenadas de posición y otras informaciones que puede facilitar el receptor, se actualizan cada segundo o cada dos segundos.

La función principal de un GPS es informar sobre la posición que ocupa por medio de las coordenadas de longitud y latitud, de manera que dicha posición pueda situarse con facilidad en un mapa o plano, pero hay otras funciones para facilitar la navegación:

- Posición: indicar la posición del GPS facilita la localización casi exacta del receptor. Para ello, el GPS tiene que haber captado las señales emitidas al menos por tres satélites.
- Altura: al captar 4 o más satélites, el GPS indica la altura sobre el nivel del mar (sensible a disponibilidad selectiva).
- Tiempo: el GPS, una vez inicializado, aunque no reciba señales satelitales, indica la hora y fecha, si recibe señales indica la hora exacta.
- Punto de paso o punto de referencia: el *'waypoint'* es la posición de un único lugar sobre la superficie de la tierra expresada por sus coordenadas. Un *'waypoint'* puede ser un punto de inicio, de destino o de paso intermedio en una ruta. Todos los GPS pueden almacenar en memoria varios *waypoints*, los cuales se pueden borrar, editar e identificar mediante caracteres alfa numérico.
- Distancia: introduciendo las coordenadas de dos puntos, la función distancia del GPS informa la separación de ambos y el rumbo en grados que hay que seguir desde el marcado como inicio al de destino. Lo mismo puede realizarse con dos *waypoints'*. Se puede medir en (km, millas y millas marinas).

- Navegación: introduciendo un *'waypoint'* como destino y otro como origen, el GPS es una brújula exacta, no afectada por campos magnéticos o metales de los vehículos.

Figura 15. **Modelo GPS utilizado**



Fuente: equipo de la empresa RYM.

2.2.3. Tabulación de datos

Teniendo claro el funcionamiento de un GPS, se procede a realizar la visita de campo; tomando como punto inicial el cabezal de bombeo la estación número 1889, finalizando en el tanque de almacenamiento en la estación número 1916.

Tabla VI. **Estaciones del sistema de bombeo**

Estación No.	Elevación (mts)	Distancia acumulada (mts)	Distancia entre estaciones (mts)
1889	1895	0,0000	0,0000
1890	1969	62,2254	62,2254
1891	1970	68,6257	6,4003
1892	1973	80,0275	11,4018
1893	1976	87,0986	7,0711
1894	1977	92,9296	5,8310
1895	1978	97,0527	4,1231
1896	1982	102,0527	5,0000
1897	1982	107,4379	5,3852
1898	1983	113,5207	6,0828
1899	1987	124,3374	10,8167
1900	1990	134,2369	9,8995
1901	1994	134,2369	0,0000
1902	1994	143,4564	9,2195
1903	1996	157,7742	14,3178
1904	2000	189,9767	32,2025
1905	2002	204,2945	14,3178
1906	2007	243,1918	38,8973
1907	2011	262,1655	18,9737
1908	2013	288,3380	26,1725
1909	2017	302,5507	14,2127
1910	2020	313,3674	10,8167
1911	2021	327,6852	14,3178
1912	2022	342,9823	15,2971
1913	2022	347,1054	4,1231
1914	2023	356,5922	9,4868
1915	2024	361,0643	4,4721
1916	2025	363,8927	2,8284

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Esquema del tanque Labor de Castilla

Uno de los pasos importantes para la toma de datos es la realización del esquema principal del sistema de conducción, el cual brindará el diferencial de altura, determinando la presión de ingreso al tanque. En el caso del tanque Labor de Castilla se tiene un diferencial de altura de 130 mca.

Diferencial de altura = Punto final-punto inicial

Diferencial de altura= 2025 mca – 1895 mca

Diferencial de altura = 130 mca

Diferencial de altura PSI= 130 mca X 1,425

Diferencial de altura = 185,25 psi

Del manómetro instalado en el cabezal del bombeo se puede tomar el dato directo de la presión de trabajo de 165 psi y con este dato determinar la presión de ingreso al tanque para encontrar el tipo de inyector y el punto adecuado a inyectar el cloro.

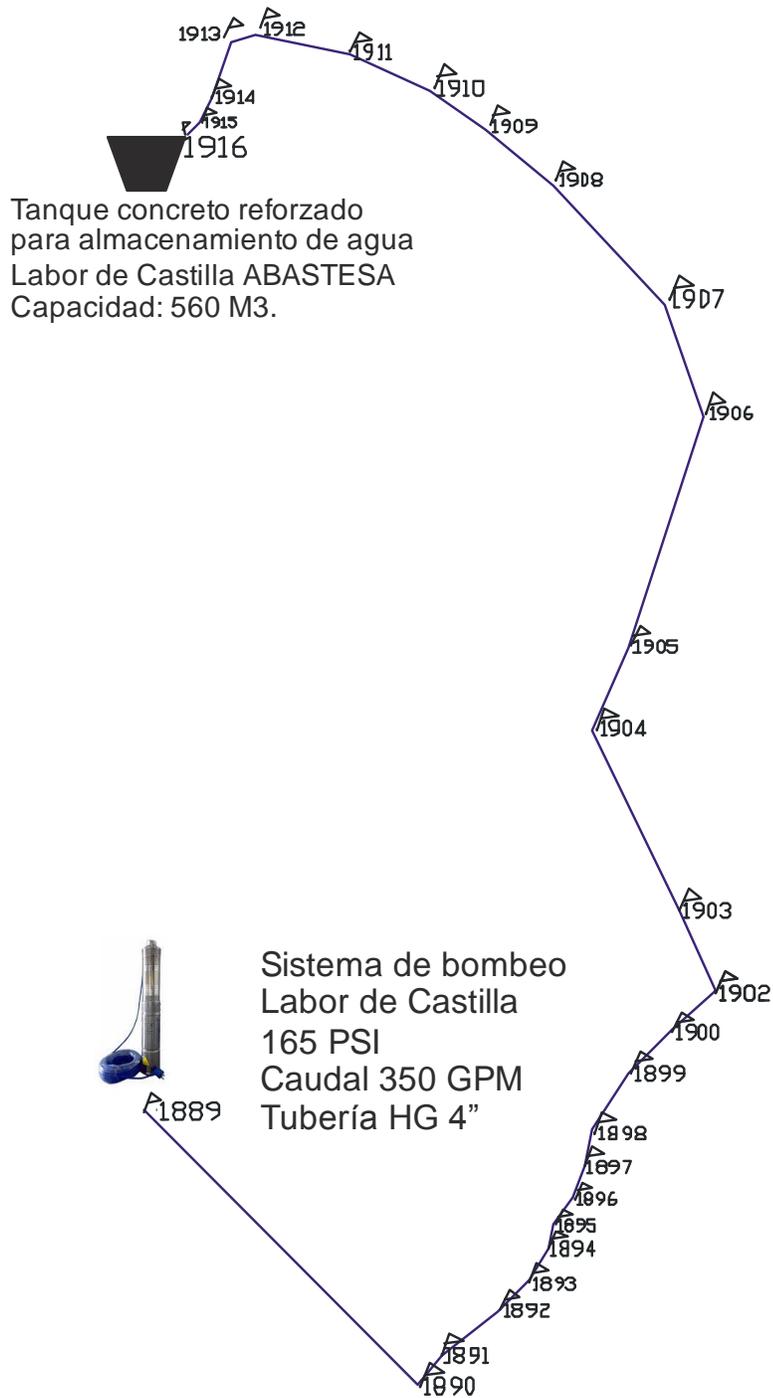
Presión ingreso tanque = Diferencial altura – presión de trabajo

Presión ingreso tanque = 185,25 PSI – 165 psi

Presión ingreso tanque = 20,25 psi

Con este dato se puede determinar el punto óptimo para la inyección de cloro gas, así como los accesorios y el tipo de eyector adecuado al equipo.

Figura 16. Levantamiento topográfico sistema conducción



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Autocad.

2.2.5. Factores que son importantes para determinar el método de desinfección

La desinfección es el último proceso y uno de los más importantes en el tratamiento de agua destinada al consumo humano. Es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puedan dañar la salud de las personas. Los valores de cloro residual están regulados por muchos organismos y dependen del uso final del agua. Así pues, para aguas potables, se recomienda que el cloro libre residual esté entre 0.5 y 1 ppm según la norma guatemalteca obligatoria de agua potable (véase anexo 1, norma guatemalteca obligatoria agua potable). La eficiencia de este proceso dependerá de factores que se deben tener en cuenta como:

2.2.5.1. Temperatura

Un factor importante es la temperatura del agua a desinfectar, en cuanto más alta la temperatura, más rápido es el proceso. Al existir una disminución de la temperatura se reduce la eficiencia.

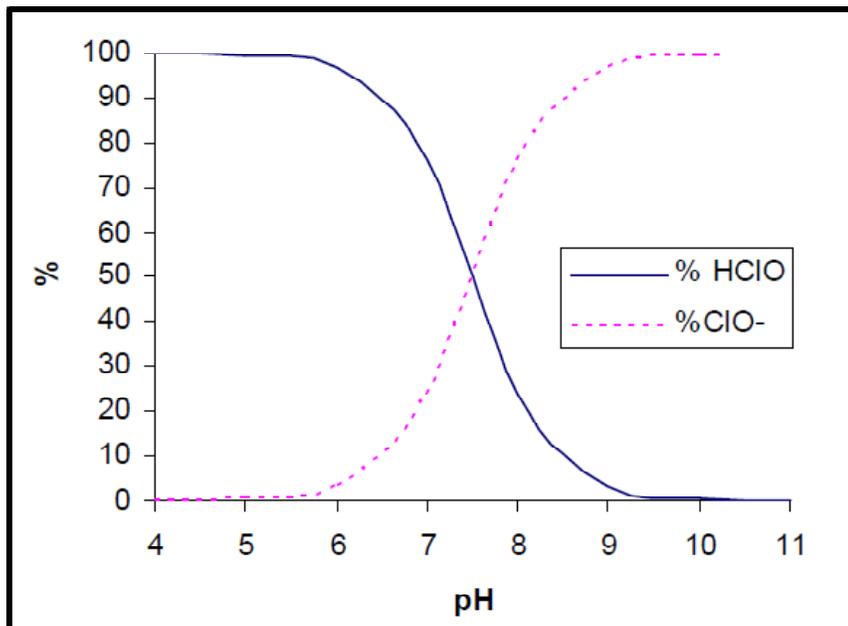
2.2.5.2. pH de agua

La cloración del agua potable se lleva a cabo en la práctica mediante el burbujeo del cloro gaseoso o la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación. El cloro, en cualquiera de sus formas, se hidroliza al entrar en contacto con el agua, formando ácido hipocloroso (HOCl). Durante el proceso químico de la desinfección, se producen compuestos tales como cloraminas, dicloraminas y tricloraminas en presencia de amoníaco en el agua.

Las cloraminas sirven igualmente como desinfectantes aunque reaccionen de una manera sumamente lenta. Asimismo, se forman el ácido clorhídrico (HCl) y los hidróxidos de calcio y sodio, los cuales no participan en el proceso de desinfección. Ambas fracciones de la especie son microbicidas, y actúan inhibiendo la actividad enzimática de las bacterias y virus produciendo su inactivación. Tanto el ácido hipocloroso (HClO) como el ion hipoclorito (ClO⁻) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9 (el rango usual para el agua natural y potable).

Cuando el valor de pH del agua clorada es 7.5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no dissociado y el otro 50% será ion hipoclorito. Los diferentes porcentajes de HClO y ClO⁻ a diferentes valores de pH pueden verse en la siguiente figura.

Figura 17. Relación pH, HClO y ClO⁻



Fuente: elaboración propia.

Las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del cloro, ya que estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas. En realidad, la eficiencia de HClO es por lo menos 80 veces mayor que la del ClO⁻. Por esta razón, cuando es monitoreado el cloro del agua, es aconsejable vigilar el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de las especies desinfectantes presentes.

La turbiedad es otro factor importante que se debe tomar en cuenta al momento de la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro, y por otro lado protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante.

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HClO), el cual se disocia en iones hidrógenos (H⁺) e hipoclorito (ClO⁻) y adquiere sus propiedades oxidantes:



El cloro residual tiene dos componentes: ácido hipocloroso (HClO) y el ion de hipoclorito (ClO⁻). La cantidad de cada uno depende del pH de la muestra.

El componente más efectivo en la desinfección es el ácido hipocloroso (HClO). A un pH de 4 – 5, el % de cloro libre en forma de (HClO) es casi un 100%. A un pH de 10 – 11, el % de cloro libre en forma de (ClO⁻) es casi un 100%. Es recomendable usar una solución estabilizadora cuando la muestra necesita ser estabilizada, para una medición adecuada de (HClO).

2.2.5.3. Caudal de agua a desinfectar

La cantidad necesaria de desinfectante está en función del caudal de agua a tratar, la dosis requerida de desinfectante según la calidad de agua y las normas de calidad de agua. El caudal de agua es un factor importante a considerar debido que la dosificación de cloro depende del caudal promedio que se abastecerá en la red de distribución.

2.2.5.4. Condiciones de mezcla

Se obtienen buenos resultados cuando la mezcla del agua y desinfectante es homogénea. Como regla se establece que dicha mezcla debe estar por lo menos de 20 a 30 minutos antes de ser distribuida a la red de abastecimiento de agua; además de inyectar la mezcla en el punto final de bombeo de agua del tanque para que la mezcla se realice homogénea, evitando dejar puntos ciegos sin mezcla del tanque.

2.2.5.5. Datos microbiológicos, físicos y químicos del tanque Labor de Castilla

La naturaleza y números de organismos a ser destruidos es uno de los factores a considerar. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 NTU.

Para ellos se tomará como base la norma COGUANOR NGO 29.001.98. (véase anexo 1, norma guatemalteca obligatoria agua potable).

Tabla VII. **Análisis microbiológico II, tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA		
Análisis	Resultados muestra	Especificaciones
Recuento aeróbico total	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 500 UFC/ml
Coliformes totales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Coliformes fecales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Escherichia coli	Ausencia	Ausencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis fisicoquímico II, tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA		
Análisis	Resultado muestra	Límite máximo permisible
pH	7.51	6.5 - 8.5
Color	0.0 NTU	35.0 u
Turbidez	1.2 NTU	15.0 NTU
Calcio	17.0 mg/L	150.0 mg/L
Cloro residual libre	0.60 mg/L	1 mg/L
Cobre	0.03 mg/L	1.5 mg/L
Conductividad eléctrica	148.8 uS/cm	Menor de 1500 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	70.0 mg/L	500 mg/L
Hierro	0.03 mg/L	1.0 mg/L
Manganeso	0.03 mg/L	0.5 mg/L
Nitratos	0.30 mg/L	10 mg/L
Nitritos	menor de 0.10 mg/L	1 mg/L
Solidos totales disueltos	149.0 mg/L	1000 mg/L

Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Interrogantes para la selección del producto

El propósito de seleccionar un sistema de desinfección es obtener eficacia máxima del desinfectante sobre la variedad más amplia de condiciones microbiológicas esperadas: mejor economía general, efectos indeseables mínimos sobre el agua que se va a tratar y fiabilidad máxima, con el fin de obtener los mayores beneficios para la salud.

Esto requiere un buen entendimiento de las propiedades y características del desinfectante, un análisis microbiológico, físico y químico, información integral sobre las condiciones existentes (físicas y socioeconómicas), y un buen conocimiento del desinfectante y del equipo de desinfección.

2.2.7. Mecanismos del método de desinfección del cloro

La cloración del agua potable se lleva a cabo en la práctica mediante la aplicación de cloro gaseoso o mediante la disolución de los compuestos, como es el caso de hipoclorito de calcio y sodio para su posterior dosificación.

El cloro es uno de los elementos químicos más comunes. Debido a su naturaleza nunca se encuentra en estado libre. Normalmente puede encontrarse combinado como hipoclorito y más comúnmente como cloruro de sodio (sal).

El cloro gaseoso es obtenido comúnmente haciendo pasar una corriente eléctrica a través de una solución de salmuera, a la que se le agrega posteriormente soda cáustica. Se comercializa en cilindros de 68 Kg (150 lbs.), en contenedores de 900 Kg (1 Ton nominal) o en isotanques montados en tráiler.

El cloro es un elemento sumamente activo, reacciona rápidamente en compuestos inorgánicos y más lento con compuestos orgánicos.

Las propiedades del cloro son importantes para conocer su funcionamiento, empezando por el color, el cual en estado líquido es ámbar claro; en estado gaseoso es verde amarillento, el olor es sumamente irritante y puede detectarse en concentraciones de 3 ppm. Es 2.5 veces más pesado que el aire. El cloro no corroe los metales como el acero o bronce, pero es muy corrosivo en presencia de humedad.

Todas las bacterias son organismos de una célula y tienen la misma composición esencial, medios de ingestión y absorción de alimentos, descarga de desechos, movilidad y habilidad de reproducirse y tienen revestimiento viscoso en el exterior con carga negativa. Al momento de la desinfección penetran la pared y alteran los procesos normales de la vida del organismo.

El ácido hipocloroso (HClO) producido al agregar cloro al agua no tiene carga. Otro producto resultante es el ion de hipoclorito (ClO^-), que tiene una carga negativa. Como el revestimiento exterior de la célula tiene una carga negativa, cualquier desinfectante con una carga neutral o positiva penetrará más rápidamente porque hay menos resistencia.

El ion del hipoclorito, con carga negativa, tiene más resistencia que el ácido hipocloroso con carga neutral y toma más tiempo desinfectar. La exposición del cloro causa alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula, con lo que concluyen las funciones vitales y da lugar a la muerte del microorganismo.

2.3. Pasos finales para la selección del método de desinfección

La información sobre las condiciones generales relacionadas con la selección de sistemas de desinfección puede incluir el clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad, topografía, comunicaciones, transporte, infraestructura comercial y disponibilidad y fiabilidad de la energía eléctrica. También es necesario tener suficiente información sobre el tipo, capacidad y cantidad de las fuentes de agua, su calidad química, biológica y física, el tratamiento antes de la desinfección, y el nivel actual y potencial de la contaminación. Además, conviene tener conocimiento de la incidencia de diversas enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua. Toda esta información es importante para determinar:

- Si el abastecimiento de agua es adecuado.
- La factibilidad de una desinfección fiable.
- Los procesos que puedan hacer falta para cambiar y adecuar la situación, a fin de asegurar una desinfección fiable y eficaz.

En resumen se debe hacer un análisis cuidadoso de todos los factores normativos, sociales, técnicos y económicos que pueden influir de una manera u otra, para que la selección del sistema de desinfección sea la más adecuada posible.

2.3.1. Instalación y sus requerimientos

Los desinfectantes y el equipo de desinfección se deben seleccionar de modo que satisfagan en lo posible las condiciones específicas de la aplicación a que se destinen, teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la fiabilidad, continuidad y eficacia de la desinfección.

Las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables en el ámbito rural son los siguientes:

- Rápido y efectivo
- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual
- Que no afecte el sabor, olor o color del agua
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar

La selección del equipo dosificador o alimentador de cloro, depende de tres factores:

- Las características del producto clorado
- La dosis de cloro en el agua
- El caudal del agua a desinfectar

2.3.2. Efecto residual

El proceso de selección de un sistema de desinfección adecuado es el de verificar que el desinfectante produzca un residual eficaz. Si el desinfectante primario no lo deja, se debe determinar la factibilidad de agregar un desinfectante secundario. En este momento también se debe considerar si va a ser factible monitorear en la red de distribución.

El cloro produce una acción sostenida de desinfección residual, única entre los desinfectantes disponibles de agua en gran escala. La superioridad de cloro como un desinfectante residual sigue siendo válida hasta el día de hoy. La presencia de un residuo sostenido mantiene la higiene de agua potable final al grifo del consumidor.

2.3.3. Infraestructura existente

Es importante evaluar si la infraestructura existente para apoyar el sistema de desinfección propuesto es adecuada. Esta es la determinación más complicada y difícil, pues debe tener en cuenta no solamente los servicios de apoyo técnico y logístico del equipo y los proveedores de productos químicos, sino también de los sistemas de transporte y comunicación existentes.

Se debe evaluar la fuente de energía eléctrica, la organización política y administrativa y el nivel promedio de educación de los residentes de la comunidad.

Habrán que preguntarse si: ¿Se basarán los servicios de apoyo en el sector privado o el sector público? ¿Existen representantes fiables del equipo y productos químicos con repuestos y materiales en existencia? ¿Pueden estos prestar servicio de reparación y apoyo técnico a los operadores? ¿Será preciso importar los repuestos y materiales? En ese caso, ¿Se dispone de capacidad de almacenamiento suficiente para garantizar piezas de repuesto de manera oportuna? De no ser así, ¿Es factible entonces fortalecer adecuadamente la infraestructura de apoyo?

2.3.4. Disponibilidad eléctrica

La disponibilidad y fiabilidad de una fuente de energía eléctrica suele ser un factor determinante que en muchos casos restringe la selección de algunas tecnologías de desinfección para los sistemas de abastecimiento de agua. En caso de no contar con energía eléctrica, sería preferible utilizar uno de los varios dispositivos por gravedad que no requiere electricidad para su operación.

2.3.5. Aptitudes técnicas

La capacidad técnica disponible debe ser considerada para la selección, ya que operar instalaciones que sean complicadas, requiere de personal entrenado y capaz, difícil de encontrar y remunerar en zonas rurales.

Dado que el cloro es tóxico, es importante capacitar al personal responsable sobre los efectos de un inadecuado manejo de los sistemas de desinfección, para minimizar y controlar los riesgos inherentes a estas instalaciones.

2.3.6. Costos

La tecnología menos costosa no siempre es la más conveniente. La desinfección es tan importante que la fiabilidad, continuidad y eficacia generalmente tiene prioridad sobre los costos iniciales o los de operación y mantenimiento.

Según las circunstancias, una solución más costosa podría convenir si la fiabilidad, durabilidad, sencillez de operación, disponibilidad de repuestos y suministros, son mejores a los de los sistema de menor costo. En todo caso, la salud debe ser la consideración principal.

Los métodos más costosos son bastante moderados en comparación con el costo médico y social de las enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera, la tifoidea, la hepatitis, las diarreas y otras. Pero en todo caso, es importante determinar el costo de la desinfección, tanto en forma comparativa como cuantitativa.

Estos costos variarán considerablemente en función de las condiciones locales, la disponibilidad de los dispositivos de desinfección de fabricación nacional y de los desinfectantes químicos, la infraestructura y otros factores. En algunos casos se pueden reducir los costos fabricando el equipo y los materiales de desinfección localmente.

Todas las formas de sistemas de desinfección de agua para comunidades son económicas, variando la misma. La relación costo/beneficio es abrumadoramente favorable, sin embargo es útil comparar las ventajas y desventajas de los sistemas apropiados, en caso de haber más de uno para seleccionar el mejor.

En la siguiente tabla se muestran los costos estimados por equipo:

Tabla IX. **Costos de los equipos**

Descripción	Costos
Dosificador manual de gas, instalado en recipiente	16 000,00
Dosificador automático de gas, instalado en la pared	32 000,00
Dosificador automático de gas, instalado en gabinete	48 000,00
Bomba de mano para alimentación de compuestos químicos	8 000,00
Bomba automática para alimentación de compuestos químicos	24 000,00
Detector de gas, instalado en pared	16 000,00
Kit de emergencia tipo A	12 000,00

Fuente: elaboración propia.

3. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

La desinfección es importante, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde puede ser la única forma de tratamiento accesible. Actualmente, el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable mediante la destrucción de los agentes patógenos y que mantenga una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana, que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento, suprimiendo de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua.

El objetivo es proporcionar información y conceptos actualizados, y las herramientas necesarias para la instalación del sistema de desinfección de cloro gas en sistemas de abastecimiento de agua.

3.1. Tipo de sistema a instalar

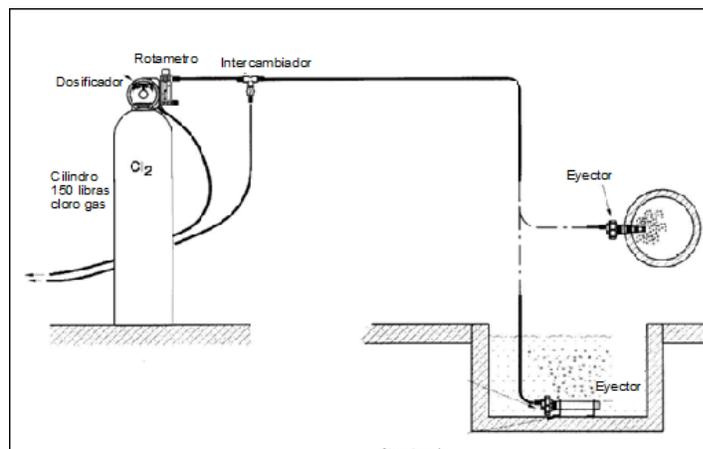
El equipo adecuado, según las características analizadas con anterioridad, es un dosificador por succión negativa que utiliza un dispositivo Venturi, el cual permite dosificar soluciones cloradas en tuberías presurizadas o bien directamente en tanques de almacenamiento donde no se requiera de energía eléctrica y la presión en la línea es mayor a 10 PSI. El vacío creado por el flujo de agua a través de un tubo Venturi succiona la solución y la descarga directamente en la corriente de agua principal, derivación o bien directo al tanque de almacenamiento.

3.2. Esquema de instalación y accesorios para el sistema de cloración a gas propuesto, para el tanque Labor de Castilla de ABASTESA

El dosificador superior es de gas, operado por vacío manual. El equipo puede instalarse en la pared o directamente en el cilindro mediante un yugo. Sus características son:

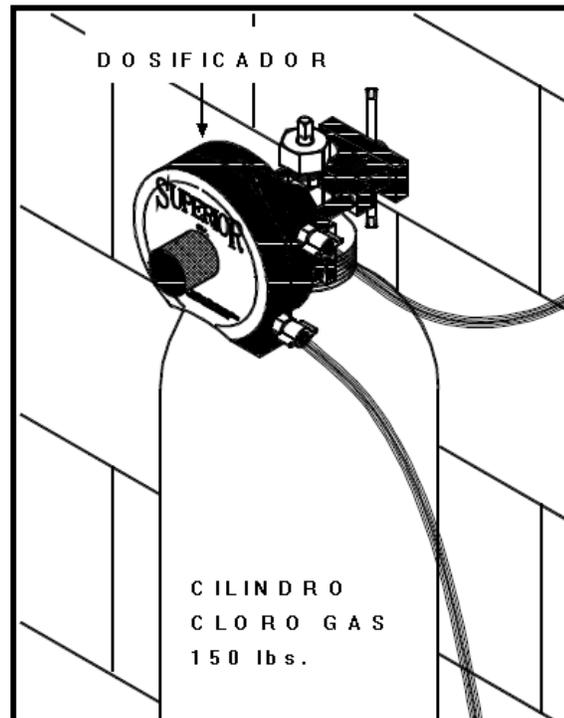
- Segura operación (vacío)
- Mínimo mantenimiento (pocas partes móviles)
- Amplia capacidad de operación (rango de 75 g/hr (4 lb/día) a 10 kg/hr (500 lb/día))
- No requiere de supervisión constante
- Adecuada y confiable dosificación
- Materiales resistentes a la corrosión (mayor durabilidad)
- Diseño modular que simplifica su instalación y operación
- Alimentación ajustada manualmente en un rango amplio de operación

Figura 18. Sistema cloración cloro gas a instalar



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

Figura 19. **Montaje dosificador cilindro cloro gas**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

3.3. Determinación del punto a dosificar cloro gas, en el sistema de distribución de agua para el tanque Labor de Castilla de ABASTESA

Con base en los elementos analizados y el dato de presión de ingreso de tanque de 20,25 PSI, se puede determinar el punto adecuado para un sistema sin corriente eléctrica, donde la presión de descarga es menor a 10 PSI; es conveniente inyectar el cloro directamente en el tanque Labor de Castilla, cercano al punto de descarga del sistema de bombeo para una mezcla homogénea.

3.4. Preparación del equipo dosificador

Los elementos de un sistema de cloración son importantes para el buen desempeño del mismo, por ello tener presente los siguientes puntos:

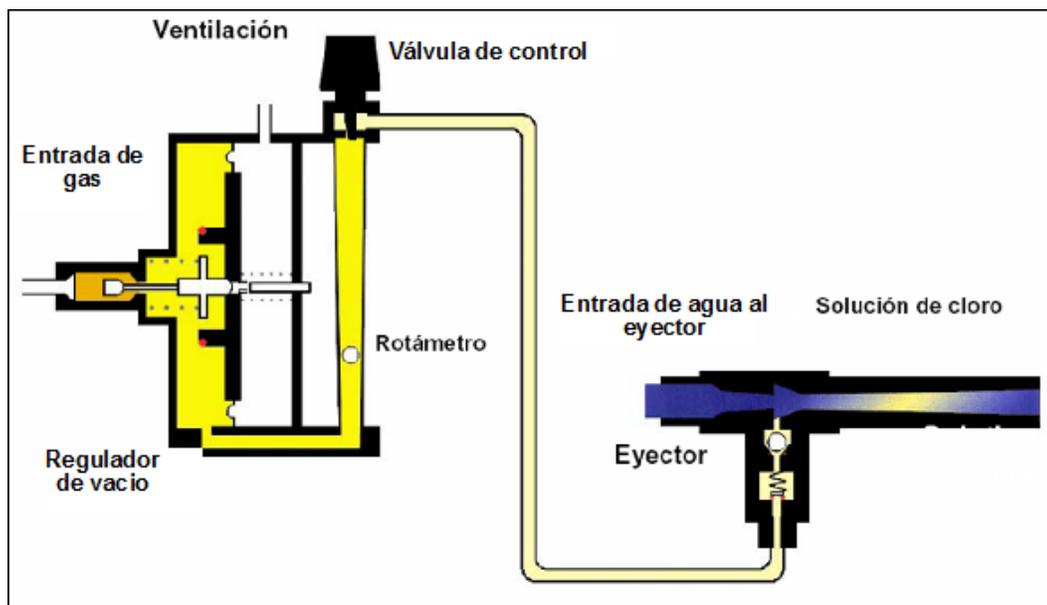
- Fuente de cloro: cilindros, tanques, contenedores.
- Línea de alimentación: flexible y tubería.
- Regulador de vacío: la función de este dispositivo es permitir el paso de cloro de los cilindros hacia el dosificador siempre y cuando exista vacío.
- Intercambiador automático: este es el dispositivo que ordena a la válvula de qué grupo de cilindros debe tomar gas.
- Dosificador: es el controlador del equipo, su función es abrir o cerrar la válvula que permite el paso de cloro al sistema para dosificar gas.
- Eyector: este dispositivo produce un vacío al circular el agua a través de él, de esta manera absorbe el cloro y lo mezcla con el agua para desinfectarla.
- Sistema de detección de fugas: este recibe las señales de los sensores de cloro y si el nivel de cloro es muy alto, enciende los extractores y la sirena para dar aviso a los operadores de lo ocurrido.
- Medidor de cloro residual: en este equipo se mide la cantidad de cloro residual que tiene la muestra de agua en mg/l.

3.5. Instalación del dosificador

Para la instalación del equipo de dosificación sin corriente eléctrica que trabaja al vacío marca Superior tanque Labor de Castilla, cuenta con una caseta disponible donde se pueden instalar los equipos sin generar costo adicional. Aspectos importantes finales a considerar para su instalación son los siguientes:

- Espacio adecuado
- Redundancia del sistema
- Sistema de pesaje
- Seguridad
- Equipos de emergencia

Figura 20. Esquema dosificador cloro gas y eyector



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

3.5.1. Componentes

- Cilindros de gas: los cilindros para este tipo de sistema son de 150 libras. Estos se construyen de acero, están equipados con uno o más artefactos de alivio de la presión, son marcados y etiquetados y rotulados como es requerido por los reglamentos pertinentes. Todos son construidos obedeciendo las especificaciones de las entidades locales de control. Los cilindros de cloro se construyen sin costura con una capacidad de 1 a 150 libras (0.45 a 68 kg). Son del tipo con anillo de refuerzo en el pie, con doble fondo. La conexión de la válvula está localizada en la parte superior del cilindro.

Figura 21. **Cilindros cloro gas**

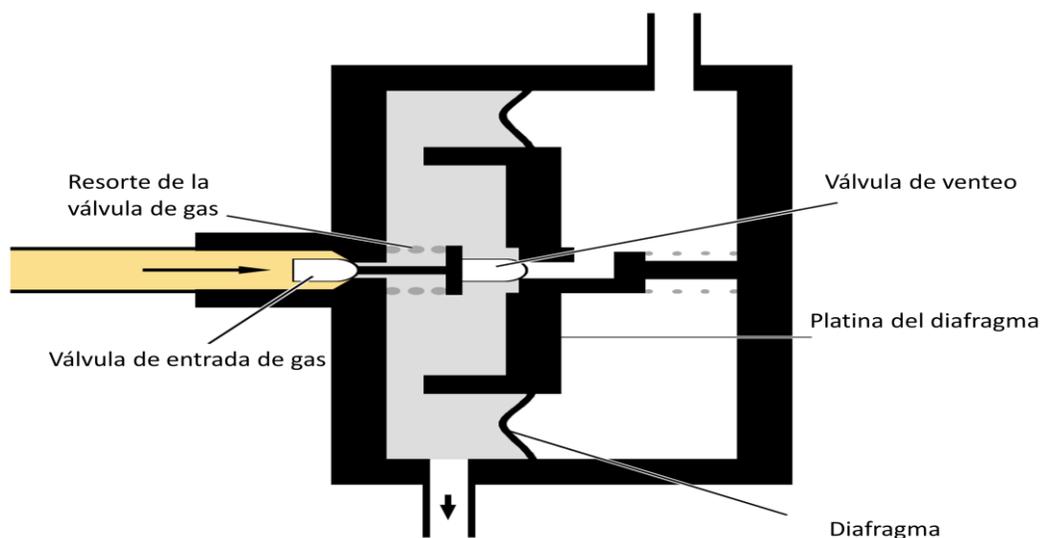


Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

La cápsula de acero de protección de la válvula se deberá utilizar para cubrir la válvula durante el transporte y el almacenamiento. El número de especificación del DOT o del TC, número de serie, símbolo de identificación, el peso vacío original, la marca oficial del inspector y la fecha del test hidrostático deberán estar estampados en el metal cerca del cuello del cilindro.

- Regulador de vacío: la función del regulador de vacío es reducir la presión del gas de los cilindros a un vacío parcial. El gas es permitido pasar a través del regulador solo en presencia del vacío. Cuando no hay vacío presente a la salida del regulador, la válvula retorna mediante un resorte que hace que se mantenga firme en su asiento. Con la válvula cerrada no es posible pasar el gas. El resorte en el diafragma está además manteniendo la válvula de venteo cerrada.

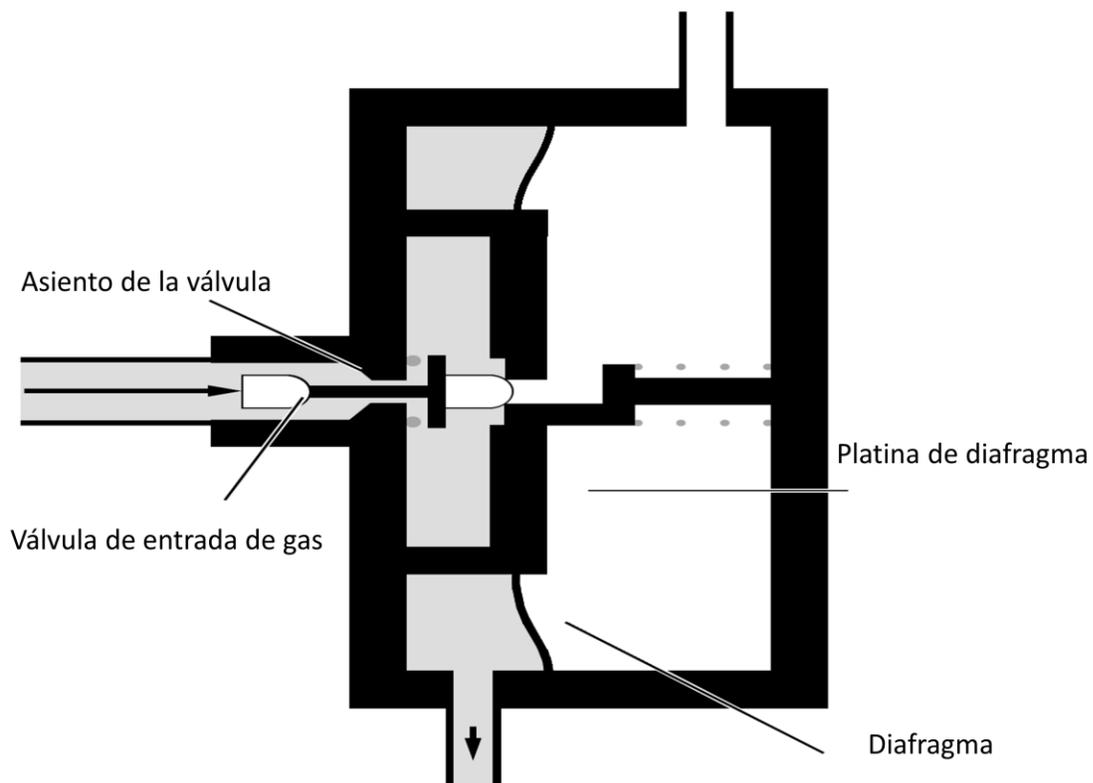
Figura 22. Partes del regulador de vacío



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

Cuando el vacío está presente en la salida del gas del regulador de vacío se consigue mover el diafragma y empuja la válvula de gas. El plato del diafragma, a su vez empuja la válvula de entrada de gas fuera de su asiento. Esto permite al gas pasar la válvula, hacia dentro del cuerpo del regulador de vacío y salir del mismo. Si existe vacío, pero no hay gas disponible, el cilindro está vacío o su válvula está cerrada, entonces este hala la platina del diafragma, de manera que haga un sello contra el cuerpo del regulador, previniendo de esta manera que el vacío llegue hasta el cilindro.

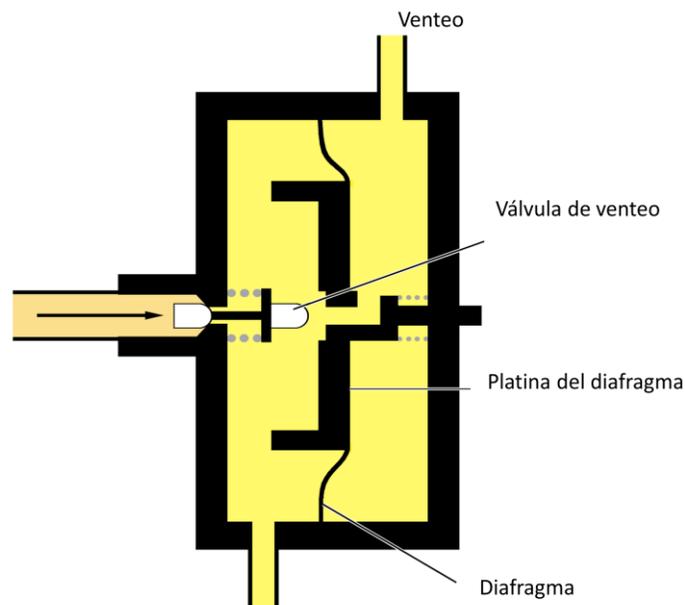
Figura 23. **Flujo de gas por sistema regulador**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

Si no existe vacío a la salida del gas, la válvula regresará a su posición de cierre de gas impidiendo que fluya más gas hacia la salida. Si la superficie de la válvula de gas se hubiera contaminado con alguna partícula desde el cilindro, entonces seguirá fluyendo el gas y la presión incrementará, empujando el diafragma hacia la posición de venteo y abre la válvula, permitiendo que el gas fluya, hacia fuera del regulador por la manguera de venteo. Esto previene que se acumule una presión peligrosa, dentro del regulador, conectado el tubo de trabajo o la unidad de dosificación.

Figura 24. **Cierre sistema flujo por regulador**



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

- Rotámetro: el mismo está diseñado para dejar pasar la cantidad de cloro deseado a inyectar en el tanque; puede venir integrado en el regulador de vacío o bien separado según lo solicite el cliente.

Figura 25. **Partes del dosificador de cloro gas**



Regulador de vacío con rotámetro incorporado



Rotámetro

Fuente: empresa ABASTESA.

- Eyector: el adecuado es un inyector que se debe instalar en el fondo del tanque de almacenamiento, el cual cuenta con un dispositivo filtro reforzado que soporta hasta 300 PSI de presión, doble válvula de retención para evitar que el agua retorne. Elimina el uso de bombas dosificadoras con líneas de inyección bajo presión.

Figura 26. **Eyector cloro gas**



Fuente: empresa ABASTESA.

- Intercambiador: este dispositivo es recomendado para sistemas de alimentación continua de bajo costo. Mientras uno trabaja, el diafragma del otro queda en espera al ser retenido. Cuando el fluido se detiene, el vacío se incrementa, lo que hace que el segundo se habilite y entre en operación.

Figura 27. **Esquema del intercambiador de cloro gas**



Fuente: empresa ABASTESA.

3.5.2. Requisitos

El dispositivo Venturi no requiere de una fuente de energía separada si existe presión suficiente en el sistema de abastecimiento de agua en el punto de aplicación de la solución de cloro, para producir un flujo adecuado de agua por él mismo.

En otros casos, se necesitaría una fuente de energía eléctrica fiable para bombear una cantidad pequeña de agua a través del Venturi.

Para el caso del tanque de Labor de Castilla, se requiere de un filtro tipo piedra que será el eyector, el cual estará instalado en el fondo del tanque cerca de la descarga del caudal que proviene del sistema de bombeo principal y único.

3.5.3. Montaje e instalación

Un Venturi tiene un régimen de flujo relativamente estrecho dentro del cual funciona eficientemente. Por este motivo, la selección del mismo debe considerar que los requisitos hidráulicos del dispositivo concuerden con las características del sistema de abastecimiento de agua (caudal máximo y mínimo).

Los dispositivos Venturi no se deben emplear para fluctuaciones amplias de caudal y de presión que excedan su rango de operación. Los dispositivos Venturi deberán ser de material resistente a soluciones fuertes de hipoclorito, ya que su potencial oxidante puede atacar el dispositivo y deteriorarlo rápidamente.

Los dispositivos Venturi se pueden instalar en una pared o directamente sobre las tuberías, dependiendo del diseño. La instalación es suficientemente sencilla como para no requerir un especialista. Todas las tuberías y tubos de plástico flexible deben instalarse adecuadamente para facilitar su operación y mantenimiento.

Debe instalarse un filtro previamente al dispositivo y tener en cuenta la remoción fácil del Venturi para limpiar los precipitados u otros depósitos que puedan obstruirlo. Al igual que con todos los hipocloradores, es preciso tomar precauciones especiales al diseñar las instalaciones de cloración y almacenamiento, debido a la naturaleza reactiva de las soluciones de cloro.

3.5.4. Cálculo de la dosis de cloro a inyectar

La determinación de la dosis a inyectar está en función del caudal, la demanda de cloro y el residual requerido para poder estar en los parámetros que marca la norma guatemalteca.

El cloro, además de reaccionar con microorganismos, también lo hace con: materia orgánica, hierro y manganeso. Por estos parámetros y para tener un nivel de cloro residual que indica la norma guatemalteca obligatoria de agua potable, la cantidad de cloro a inyectar es bastante superior al residual.

Por este motivo es importante determinar la demanda de cloro, es decir, la cantidad de cloro que se consume hasta la aparición del residual. Por lo tanto, la demanda de cloro es la diferencia existente entre la cantidad de cloro aplicada al agua y la de cloro disponible libre.

Flujo de agua = 1,200 m³/día = 317006.00 gal/día = 1200000.00 L/día

Residual requerido= 0.6 ppm (mg/l)

Demanda de cloro= 2 ppm (mg/l)

Dosis requerida= residual + demanda

Dosis requerida= 0.6 + 2= 2.6 mg/l

Dosis de cloro a inyectar = Dosis requerida * Flujo de agua

Dosis de cloro a inyectar= 2.6 x 10⁻⁶ Kg/l *120000.00 L/día = 3.12 kg/ día

Dosis de cloro a inyectar = 3.12/24 kg/hora

Dosis de cloro a inyectar= 0.13 kg/hora

Dosis de cloro a inyectar = 6 lb /día

Esto indica que es posible utilizar un rotámetro con un sistema de medición de 15 libras por día máximo.

3.5.5. Punto de medición de la muestra

Los lugares de toma de muestras se elegirán de forma específica para el sistema de abastecimiento de agua del tanque Labor de Castilla. Dada la naturaleza del riesgo para la salud pública que ocasionan los agentes patógenos y la posibilidad de que la contaminación se extienda por todo el sistema de distribución, la toma de muestras para análisis microbiológicos (y para el análisis de parámetros asociados, como el residuo de cloro) se realizará típicamente de forma frecuente y en lugares aleatorios.

Es necesario elegir cuidadosamente los lugares y la frecuencia de la toma de muestras para el análisis de los componentes químicos que provienen de las tuberías y de los materiales de fontanería y cuya presencia no está sujeta a un control directo, así como para los componentes que sufren cambios durante la distribución.

Se ha comprobado la eficacia de la toma de muestras aleatoria en sistemas de distribución de agua potable.

3.5.6. Equipo a utilizar para la medición de la muestra

El equipo a utilizar es el más preciso de todos, ya que no interviene el ojo humano como el que utilizan en la actualidad en ABASTESA. La luz infrarroja emitida por un led pasa a través de la muestra, la cual emite una radiación provoca un potencial en mV, y es detectado por un microprocesador que visualiza el resultado en ppm.

Figura 28. **Fotómetro eléctrico con pantalla**



Fuente: empresa ABASTESA.

3.5.7. Método a utilizar para la medición de cloro

La determinación de cloro residual en el agua se realiza por reacción con o-tolidina o bien , N-dietil-p-fenilendiamina (DPD, N,N-diethyl-pphenyleniamine).

La primera de ellas se realiza de forma simple, pero presenta el inconveniente de que no permite una buena diferenciación entre el cloro residual libre y el combinado.

La o-tolidina reacciona rápidamente con el cloro libre, pero a partir de los 5 segundos también reacciona con el combinado, de forma que no se puede cuantificar ambos por separado, ya que es casi imposible realizar el análisis por separado en una escala tan corta de tiempo.

Al no poder determinar si realmente existe cloro libre (y en qué cantidad), se puede tener un agua mal clorada: alto contenido en cloro combinado, pero ausencia de cloro libre; es recomendable el uso de DPD, que sí permite distinguir entre cloro libre y combinado. La DPD, a pH entre 6.2 y 6.5 da lugar a una coloración rojiza que es proporcional a la cantidad de cloro libre presente en el medio.

Por comparación con una escala de color, se puede determinar la cantidad de cloro libre. Sobre la misma muestra se añade yoduro potásico, que libera el cloro combinado y hace que este reaccione con la DPD, con lo que finalmente se tiene la lectura de cloro residual total. Por diferencia entre ambos valores, se puede determinar el cloro residual combinado. Esta reacción se puede monitorear de forma sencilla en forma de kits de reacción, suministrados por proveedores locales.

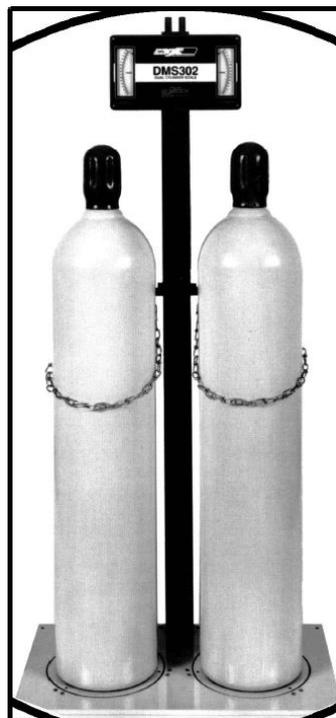
Una forma más precisa de realizar esta determinación y la que se recomienda, es utilizar para la medición en el tanque Labor de Castilla un fotómetro, que es un instrumento que realiza la lectura de la intensidad de color y permite relacionarla directamente con la concentración de los productos. Esto funciona con la determinación colorimétrica de cloro por reacción con DPD.

3.5.8. Sistema de pesaje

La balanza está diseñada para control de peso de uno o dos cilindros de cloro gas, el cual se compone de plataformas de pesaje con fijación al piso y un indicador del peso del cilindro. Además, cuenta con pedestal de apoyo del indicador y la barra, con desplazamiento y cadena de sujeción para el cilindro.

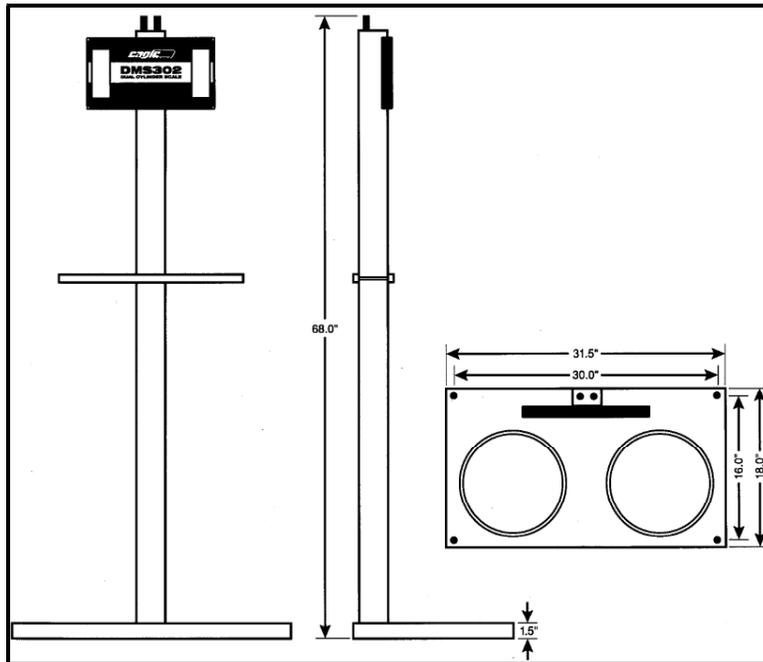
Esto ayuda a tener exactitud en las mediciones, seguridad en la manipulación, además puede llevar un control de la cantidad de cloro para no dejar el sistema sin funcionamiento.

Figura 29. Sistema pesaje cilindros cloro gas



Fuente: empresa ABASTESA.

Figura 30. Dimensiones del sistema de pesaje para cilindro cloro gas



Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

3.5.9. Detectores de fugas

El detector de fugas es un modelo ATI 14/11 compacto. Es un sistema de un canal sencillo o doble para la detección de escapes de cloro. Tiene como características dos puntos de alarma y tres *relay* de alarma. Este tipo de equipos monitorean continuamente muestras del aire y detectan la presencia de los gases; la ubicación se escoge considerando los lugares donde se concentrará el gas en caso de una fuga, y deben ser ubicados donde se almacena el cloro y donde se le manipula. Los sensores deben ser ubicados en lugares bajos debido a que en caso de fuga, aquí habrá mayor concentración de cloro.

Figura 31. **Accesorios para detectar fugas cloro gas**



Fuente: empresa ABASTESA.

Por último, es importante mencionar que todos los sistemas de desinfección cloro gas deben de contar con un sistema de ventilación adecuado, el cual debe proveer aire fresco para una normal operación y debe ser tomado en consideración en caso de fugas. En algunos casos, la ventilación natural puede ser la adecuada, de otra manera se debe considerar incluir equipos mecánicos que provean la ventilación requerida.

4. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

Es importante que se realice un plan de acciones adecuadas y oportunas para que todas las partes del sistema funcionen correctamente acorde a las especificaciones de diseño. Esto llevará a mantener correctamente un sistema de desinfección, lo cual permitirá asegurar que la distribución de agua del tanque Labor de Castilla sea de buena calidad, evitando la prevalencia de enfermedades de origen hídrico y disminuir los gastos en sus reparaciones. En el caso de la operación, es necesario desarrollar las acciones adecuadas y oportunas para que el sistema de desinfección a cloro gas, funcionen en forma continua y eficiente.

4.1. Determinación del caudal de agua de ingreso al tanque

Mediante la realización de aforos realizados en el sistema de bombeo que ingresa al tanque Labor de Castilla se determina el caudal de ingreso al tanque el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla X. **Aforo ingreso caudal tanque Labor de Castilla**

Tanque Labor de Castilla medidor Turbo Bar BERMAD diámetro 4"							
30/03/2012	gps	gpm	gph	gpd	m ³ /h	m ³ /mes	m ³ /año
55 gal./148 segundos	0,37	22,3	1338	13378,38	50,64	1519,12	18229,43
05 de enero 2013	gps	gpm	gph	gpd	m ³ /h	m ³ /mes	m ³ /año
55 gal./148 segundos	0,7	22,3	1338	13378,38	50,64	1519,12	18229,43

Fuente: elaboración propia.

El caudal es contabilizado por medio de un medidor de turbina marca 'Bermad' de 4", que está diseñado especialmente para trabajo en sistema de operación en conducciones de caudales altos, como es el caso del tanque de Labor de Castilla.

Este medidor está basado en el principio '*Woltman*', con aletas helicoidales, las cuales giran sobre un eje central paralelo a la dirección de agua en la tubería conductora. Este tipo de medida es ideal debido a su alta durabilidad, mantenimiento fácil y bajos costos de operación.

Figura 32. **Medidor turbina tipo Woltman Bermad**



Fuente: empresa ABASTESA.

4.2. Análisis microbiológico, físico y químico del agua

Para que un sistema opere bien y cumpla con la dosificación correcta, según la norma COGUANOR, es importante la toma periódica de muestras en el tanque Labor de Castilla; es por eso que se muestra a continuación el siguiente resultado, para verificar que su operación pudiese ser la óptima.

Tabla XI. **Análisis microbiológico III, tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA		
Análisis	Resultados muestra	Especificaciones
Recuento aeróbico total	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 500 UFC/ml
Coliformes totales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Coliformes fecales	Menor de 1 UFC/ 100ml	Menor de 1 UFC/ 100ml
Escherichia coli	Ausencia	Ausencia

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis fisicoquímico III, tanque Labor de Castilla**

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA		
Análisis	Resultado muestra	Límite máximo permisible
pH	7.38	6.5 - 8.5
Color	0.0 NTU	35.0 u
Turbidez	1.7 NTU	15.0 NTU
Calcio	32.0 mg/L	150.0 mg/L
Cloro residual libre	0.48 mg/L	1 mg/L
Cobre	menor de 0.05 mg/L	1.5 mg/L
Conductividad eléctrica	393.0 uS/cm	Menor de 1500 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	160.0 mg/L	500 mg/L
Hierro	0.02 mg/L	1.0 mg/L
Manganeso	0.05 mg/L	0.5 mg/L
Nitratos	0.96 mg/L	10 mg/L
Nitritos	menor de 0.010 mg/L	1 mg/L
Sólidos totales disueltos	391.0 mg/L	1000 mg/L

Fuente: elaboración propia.

4.3. Evaluación de la cantidad de cloro a dosificar

La cantidad de cloro a dosificar está en función de la demanda de cloro, cloro residual, caudal y de las condiciones físicoquímicas del agua, agregándole la tasa recomendada de remoción de gas de un cilindro de 150 lbs.

Se pudo observar que el sistema de bombeo es constante y no varía el caudal del tanque, así que el cálculo de dosificación realizado sigue siendo el mismo; no obstante, al momento de realizar la toma de muestra, se va a obtener cloro libre, es decir esta cantidad no es cloro añadido, puesto que parte de este se ha consumido por sustancias presentes en el agua (demanda de cloro).

Lo importante en estos momentos es la velocidad de reacción de cloro gas con los microorganismos. Bajo este esquema, se definirá T_c , que será la cantidad de concentración de cloro a dosificar por el tiempo de contacto entre el cloro y el microorganismo, con el fin de asegurar la dosificación deseada.

Este dato dependerá del microorganismo y la temperatura del agua, además, tal como se mencionó anteriormente está relacionada con el pH.

En la tabla XII se muestra la concentración en relación con los valores indicados del producto T_c que se expresa como mg min/l, es decir tiene dimensiones de concentración por tiempo.

Tabla XIII. **Tiempo de inactivación en relación con pH y concentración**

Inactivación de microorganismos a una temperatura promedio de 20° C									
Concentración cloro (mg/L)	pH 6.5			pH 7.5			pH 8.5		
	90%	99%	99.90%	90%	99%	99.90%	90%	99%	99.90%
0.60	15	30	45	21	43	64	31	61	92
1.00	16	31	47	22	45	67	33	65	98
1.40	16	33	499	23	47	70	34	69	103
1.80	17	34	51	25	49	74	36	72	108
2.20	18	35	53	26	51	77	38	75	113
2.60	18	37	55	27	53	80	39	78	117
3.00	19	38	57	28	55	83	41	81	122

Fuente: elaboración propia.

En el caso del tanque Labor de Castilla se tienen los siguientes valores:

- Temperatura promedio: 20°C
- pH: 7.38
- Inactivación: 99.99%
- Dosis a emplear: 2.6 mg/l

De esta forma se determina el valor Tc, en la tabla anterior que sería de:
 $T_c = 80 \text{ mg} \times \text{min/l}$. Por tanto, el tiempo de contacto recomendado resulta de dividir este valor por la dosis a emplear:

Tiempo de contacto = $T_c / \text{dosis a emplear}$

Tiempo de contacto = $80/2.6 = 30.77$ minutos

El tiempo de desinfección depende de muchos parámetros y el hecho de tener determinada concentración de cloro residual no asegura una adecuada desinfección, si no se tiene un estricto control tanto del tiempo de contacto como el de todos los factores. Por eso es recomendable monitorear el cloro residual. En general, en las condiciones que se mencionan anteriormente, se puede considerar que en 30 minutos el agua está adecuadamente desinfectada para poder distribuirla en la red.

Además, es importante determinar la remoción de gas. Con la válvula cerrada, el líquido en el interior del cilindro se mantiene a temperatura ambiente. La temperatura del líquido determina la presión del gas sobre el mismo. A temperatura ambiente de 20°C la presión del cloro gas será de 80 PSI.

Figura 33. **Condiciones de un cilindro 150 lbs cloro gas**



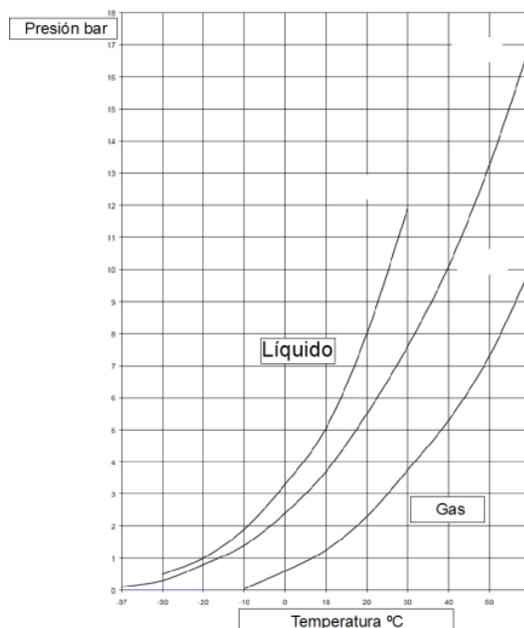
Fuente: elaboración propia. Esquema realizado con el programa Freehand.

Cuando el gas es removido de un contenedor, se da la evaporación; la misma que causa que el líquido se enfríe. El calor es absorbido a través de las paredes del contenedor para mantener el balance térmico entre el cilindro, el ambiente y la temperatura del líquido.

Cuando el gas es extraído a una tasa mayor a la que está diseñado el cilindro, no es posible mantener el balance térmico, dando como primer resultado la condensación, formando una capa de hielo en las paredes del contenedor.

La presión del gas dentro del cilindro está determinada por la temperatura del líquido dentro del mismo, la cual depende de la temperatura ambiente. La presión del gas a través de todo el sistema, es la misma que en el cilindro hasta el regulador de vacío, todo el tiempo que las válvulas estén abiertas y el gas esté fluyendo. Un problema puede ocurrir si la variación de la temperatura ambiente es grande, por ejemplo del día a la noche. La temperatura promedio en el tanque Labor de Castilla es de 20°C; la presión del cilindro sería de 80 PSI.

Figura 34. **Temperatura y presión para remoción gas en cilindros**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 35 se puede ver que si la presión del cloro y la temperatura caen al lado derecho de la línea, entonces el cloro se encuentra en forma de gas. Si la combinación está del lado izquierdo de la línea, entonces el cloro se presenta en estado líquido.

Teniendo los datos del tanque Labor de Castilla, una temperatura promedio de 20°C (68°F), presión promedio de 80 PSI y peso del cilindro de 150 libras; se puede indicar que la tasa de descarga de un cilindro de cloro gas está determinada por:

- Tasa remoción gas por día: peso cilindro en libras / temperatura promedio °F
- Tasa remoción gas por día: 150 libras / 68 °F

Entonces la descarga de gas recomendada para un cilindro de 150 libras de cloro gas sería de 2.20 libras/día/°F.

4.4. Hoja de cálculo para el sistema dosificador

Es muy importante en todo sistema de dosificación llevar un control, con el fin que el operario pueda entender y modificar los parámetros de calibración; para esto se incluye una hoja para la toma de datos y posterior cálculo, para futuras calibraciones.

En la siguiente tabla se muestran los datos básicos que se deben anotar para todo sistema de desinfección basado en cloro gas.

Tabla XIV. **Hoja para toma de datos del dosificador**

Hoja de cálculo para sistemas cloración a gas				
Descripción	Valores requeridos	Unidades	Valores requeridos	Unidades
Demanda de cloro		ppm (mg/l)		ppm (mg/l)
Residual requerido		ppm (mg/l)		ppm (mg/l)
Dosificación total		ppm (mg/l)		ppm (mg/l)
Caudal mínimo		l/s		gpm
Caudal máximo		l/s		gpm
Capacidad dosificación caudal mínimo		kg/h		lbs/día
Capacidad dosificación caudal máximo		kg/h		lbs/día
Capacidad recomendada		kg/h		lbs/día

Fuente: elaboración propia.

4.5. Calibración del dosificador

Uno de los pasos previos a la puesta en operación de los dosificadores es la calibración del equipo dosificador para aplicar la cantidad óptima de producto, la cual depende de tres factores:

- Las características físicas del producto a emplear: líquido o sólido.
- La dosis de cloro necesaria para obtener la concentración de cloro residual esperada al extremo de la red.

- El caudal de agua a desinfectar: en caso de que no sea factible controlar las variaciones de caudal, por ejemplo en manantiales, se deberá considerar el caudal máximo de la fuente.

La dosis de cloro se obtendrá a través del estudio de la demanda de cloro y de la concentración de cloro residual esperada, la cual está usualmente definida por las normas de calidad del agua que rigen en el país.

El caudal de agua a tratar, no solo condiciona la cantidad de cloro a dosificar, sino también el tipo de equipo que se adapte mejor a esta necesidad. El procedimiento de calibración varía según el equipo dosificador, y este a su vez depende del caudal de agua a desinfectar.

Tomando en cuenta estos factores, los equipos dosificadores que se encuentran disponibles en el mercado y aplicables a los sistemas rurales se pueden clasificar en dosificadores mecánicos y bombas dosificadoras para solución gaseosa. La calibración de estos equipos puede realizarse en forma manual y automáticamente.

4.6. Funcionamiento del inyector

El inyector trabaja por el principio de 'Bernoulli' el cual establece que: cuando la velocidad de un fluido se incrementa la presión disminuye y viceversa. Este principio puede ser demostrado soplando sobre una pieza de papel. Si se sostiene un pedazo de papel en sus dedos y sopla a través del extremo superior, el aire sobre el papel se mueve a mayor velocidad que el aire bajo el mismo, resultando que la mayor presión bajo la pieza de papel empuja el papel hacia arriba y este sube.

El tubo descargará directamente hacia la atmósfera. En el punto de descarga existe una restricción (una boquilla); el inicio del tubo se conecta a una fuente de presión. La válvula está cerrada de modo que no existe flujo.

Cuando la válvula está abierta el fluido pasa a través del tubo y se descarga por la boquilla. Se pueden hacer las siguientes observaciones: existe presión aguas arriba de la boquilla, entonces un fluido alto se provoca, moviéndose más rápido que en el tubo sale de la boquilla. Luego, al inicio de la boquilla hay alta presión y baja velocidad; al otro lado de la boquilla lo contrario, alta velocidad y baja presión.

La boquilla ha convertido la energía disponible de la presión aguas arriba, en energía cinética a su salida. Ahora, si se pudiera ver el aire circundante en la descarga de la boquilla, se observaría que se han formado corrientes de aire circundante, circulando alrededor del eyector.

En otras palabras, el fluido que emerge de la boquilla ha impartido parte de su energía cinética al aire circundante.

Si se pone entonces un tubo con los extremos abiertos alrededor del área de descarga de la boquilla, se observaría que las corrientes han desaparecido, y en su lugar existiría un flujo estable de aire, moviéndose a través del tubo en dirección de izquierda a derecha.

Si practica una entrada en el tubo, se observará que el aire es absorbido a través de la entrada. Ahora se tiene un dispositivo simple que es capaz de absorber el aire (bompear) el gas circundante. Este es el principio básico de funcionamiento del eyector.

4.7. Analizador de cloro residual

Este tipo de dispositivo viene integrado con una batería interna con duración de 20 años y no requiere mecanismos de alimentación de energía eléctrica, el rango de medición total es de 0-2, 0-20, 0-200 mg/l, tiene rápida respuesta, y permite control preciso de la dosificación 90% dentro de 30 segundos, bajo caudal requerido para la muestra 0.5 litros por minuto. Existe la calibración automática a cero con intervalo de autocalibración y tiempo de retención para lectura durante el ciclo de calibración, configurables por el usuario. Esto es clave para protección del usuario y no requiere reactivo.

Figura 35. Analizador de cloro residual



Fuente: empresa ABASTESA.

4.8. Monitoreo del sistema de cloración

El monitoreo de cloración, como se expuso anteriormente, es importante para la buena cloración del sistema de desinfección de cloro gas y poder tener un cloro residual, tal como lo indica la norma guatemalteca obligatoria de agua potable. Pero además es importante el monitoreo para el cuidado de la salud de los trabajadores.

Para ello es importante conocer los niveles de exposición: entre 0.02 a 0.2 ppm, se conoce como umbral de olor y la mayoría de personas sienten el olor del cloro; menor a 0.5 ppm no se conoce un efecto agudo o crónico que se conozca; mayor a 0.5 ppm se permite un periodo de exposición máxima de 8 horas por día o 40 horas por semana.

Cuando se tiene valores de 1.0 ppm se permite un límite de exposición corto que no debe ser mayor a 15 minutos de manera continua.

En exposiciones de 3.0 ppm, en periodos mayores a una hora, podría causar daños irreversibles o serios efectos de salud que pueden atrofiar la habilidad de tomar una acción de protección y por último, en niveles mayores a 10 ppm, produce irritación en los ojos y las membranas mucosas, lo cual provoca daños severos, dependiendo del tiempo de exposición, se corre peligro de muerte.

5. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

Los cloradores de funcionamiento al vacío de cloro gas requieren inspección y mantenimiento con regularidad por operadores capacitados y que se sigan las recomendaciones del fabricante, para asegurar su funcionamiento adecuado y evitar reparaciones y accidentes costosos.

Este tipo de sistema generalmente es duradero y relativamente exento de dificultades. Hay que tener sumo cuidado de que la humedad no se mezcle con el cloro gaseoso dentro del sistema dosificador, pues el cloro gaseoso húmedo corroerá o deteriorará rápidamente el equipo: partes plásticas, herrajes de metal, válvulas, conexiones flexibles, etc.

Los materiales del sistema de cloración, incluidos los repuestos y accesorios, tienen que ser apropiados para el manejo del cloro gaseoso húmedo y seco. El cloruro férrico que se deposita en las tuberías, generalmente debido a las impurezas del cloro, se debe limpiar con regularidad. En todo momento se debe tener a mano una cantidad adecuada de repuestos.

Las conexiones flexibles deben reemplazarse conforme a lo recomendado por el fabricante. Los empaques de plomo entre el cilindro y el clorador se deben utilizar solo una vez.

Cuando sea necesario cambiar cilindros se deben abrir las juntas entre los cilindros y los cloradores, en cuyo caso, o por cualquier otra razón, se deben reemplazar por empaques nuevos recomendados por el fabricante.

5.1. Mantenimiento preventivo

Esta es una serie de acciones de conservación que se realizan con frecuencia determinada en las instalaciones y equipos, para evitar fallas en su funcionamiento.

Este tipo de equipos son muy precisos, especialmente cuando el flujo varía mucho; en consecuencia, en estos casos es necesario ajustar con frecuencia la dosificación y por lo mismo la importancia de probar los equipos antes de montarlos en el lugar de inyección

Los materiales acrílicos que están fabricados, el dosificador y eyector, tienen ventajas porque permiten al operador determinar visualmente cuándo hay que limpiarlo, y además es muy resistente al cloro. Se debe limpiar rutinariamente, si fuera necesario con ácido, para eliminar los sedimentos más duros que puedan ocasionar por la calidad de agua. Además, es importante usar válvulas con asiento de vitón en todos los puntos que se encuentren después del eyector.

Realizar una apertura y un cierre de las válvulas, al menos cada 15 días. Las válvulas que no son operadas frecuentemente suelen dañarse y no pueden funcionar debido a su bloqueo total ocasionado por la corrosión; esto sucederá con mayor frecuencia si las válvulas no son de asiento de vitón.

Considerar un *bypass* para reparaciones o mantenimiento, esto va a depender del sistema; la finalidad de instalar un *bypass* es evitar el paro de la dosificación para realizar mantenimientos o reparaciones. Estar pendiente del mantenimiento que se debe hacer a los equipos al menos una vez al año, aunque estos no presenten problemas.

Considerar mantener un *stock* de válvulas debido que durante los montajes de equipos se rompen o dañan y la adquisición local es complicada y tiempo de entrega dificultarían la continuidad del sistema de cloración.

La mayoría de empaques de las juntas, válvulas, resortes y juntas, con el tiempo se deterioran por estar en contacto con el cloro, por lo que deben reemplazarse periódicamente. Estas piezas deben ser de material apropiado y estar a mano en todo momento

Es por este motivo que se debe considerar la siguiente guía para el mantenimiento:

- Se debe determinar cuatro posibles irregularidades en el sistema de desinfección de cloro gas: fugas de gas, falta de suministro de gas, esfera negra de rotámetro sin movimiento y pérdida de vacío. Para las fugas existen tres posibles puntos en los que puede ocurrir:
 - En la empaquetadura de la válvula de cilindro de gas, la cual se debe apretar muy bien la tuerca de la empaquetadura de la válvula del cilindro, evitando aplicar fuerza excesiva; si con esto no se soluciona, es necesario llamar al proveedor de cilindros para el cambio del mismo.
 - En la junta de plomo entre el dosificador y la válvula del cilindro las cuales son causadas por utilizar junta de plomo usada, por suciedad depositada en las superficies de asentamiento de la junta, por la conexión floja o demasiado apretada o por haberse prescindido de la junta. Es por ello la importancia de usar juntas nuevas en cada cambio de cilindro. Cerciorarse que las superficies

de asentamiento de la junta estén limpias y lisas. Apretar el yugo, pero sin exceso.

- En la válvula interna de corte del dosificador. La descarga de gas por la ventilación indica una fuga en la válvula interna de corte de seguridad. Esta fuga es causada generalmente por la presencia de suciedad en el asiento de la válvula y se debe proceder a:
 - Cortar el suministro de agua al eyector;
 - Sumergir el extremo de la línea de ventilación al sistema de agua; un burbujeo constante indicará que hay una fuga de gas;
 - Antes de sacar la unidad del cilindro de gas, cerrar la válvula del mismo; abrir el suministro de agua y dejar que el dosificador funcione hasta que la esfera negra del rotámetro caiga al fondo;
 - Proceder a limpiar la válvula y su asiento.

Para la falta de suministro de gas existen cinco posibles causas, la primera es por la obstrucción del eyector, el cual es fácilmente comprobable desconectando la línea de vacío del eyector y colocando el pulgar sobre el conector. Si hay un vacío adecuado, se sentirá una fuerte succión. Si no hay vacío, el eyector está obstruido y debe limpiarse. La segunda causa puede ser por presión de agua insuficiente para el buen funcionamiento del eyector. Esto se puede verificar colocando el pulgar sobre el conector del eyector. La tercera causa puede originarse por cilindro de gas vacío la cual puede verificarse por medio de la balanza y será momento de cambiar por uno nuevo.

La cuarta causa se origina por la obstrucción del filtro de entrada del dosificador, la suciedad proveniente del cilindro de gas puede obstruir totalmente el filtro de fibra de vidrio por lo cual se debe cambiar, teniendo cuidado de no perder la malla de plata colocada detrás de la misma.

La quinta causa es por pérdida de vacío, esto puede ser debido a que la línea de vacío esté dañada y es necesario reemplazar la misma.

Si la esfera negra está sin movimiento, es posible que el gas tenga vestigios de compuestos orgánicos que se depositan sobre la esfera o el tubo de vidrio del rotámetro. Esta deposición es a menudo pegajosa, lo que hace que la esfera se adhiera a la superficie del vidrio, dando por resultado su funcionamiento irregular. Cuando esto suceda es necesario desmontar el rotámetro para su limpieza.

La frecuencia de la limpieza depende de una cantidad de factores. Los dosificadores de poca capacidad necesitan una limpieza más frecuente que las unidades de capacidad mayor. La calidad de gas y las temperaturas operativas de las instalaciones también afectan la frecuencia con que debe hacerse la limpieza. La experiencia indica que una unidad de 10 libra / día puede necesitar limpieza cada 4 o 5 meses.

En el caso que se pierda vacío, para asegurar un funcionamiento óptimo, todas las partes del equipo deben ser herméticas, ya que las entradas de aire al sistema ocasionarían la pérdida de vacío. La hermeticidad de todas las unidades es probada en fábrica antes de su despacho, de tal forma que es poco probable que una unidad nueva presente la pérdida de vacío; por otra parte, es muy raro que se produzcan pérdidas de vacío durante el funcionamiento, a menos que el equipo haya sido desarmado.

5.2. Mantenimiento predictivo

Para este tipo de mantenimiento es necesario contar con repuestos necesarios, debido que se deben sustituir piezas cuando es posible predecir su falla por antigüedad o condiciones de trabajo.

Debido que el dosificador es desmontable, el mantenimiento de las piezas que la conforman resulta fácil de realizar. Se sugiere que se realice un mantenimiento anual del equipo, sustituyendo únicamente los empaques internos.

La pieza que debe cambiarse con frecuencia es el empaque que une el cilindro de cloro con el dosificador, el cual debe ser de plomo y es obligatorio cambiarlo cada vez que se reemplace un cilindro de cloro gas.

Los repuestos necesarios que deben de tenerse en bodega para la realización de mantenimientos se incluyen en la siguiente lista:

- Rotámetro
- Válvula interna de corte y su asiento
- Válvula reguladora de caudal
- Eyector y circuito de mangueras

Estos serán proporcionados por el proveedor del equipo, así como los manuales de cada pieza descrita. De esta forma se podrá desmontar y desarmar las piezas necesarias para su funcionamiento óptimo.

5.2.1. Factores a considerar para la ampliación del sistema

Todo sistema de desinfección que se pone en marcha debe estar preparado para su posible ampliación.

La ampliación se refiere a dejar todos los equipos, componentes, instalaciones y accesorios necesarios para su posterior ampliación, sin incurrir en costos innecesarios, desechando equipos que no están en la capacidad de poder dosificar el cloro necesario para su posterior distribución en la red.

Por ello es importante considerar al momento de diseñar todo sistema de desinfección cloro gas y un programa de macromedición para llevar un control de los volúmenes de agua al ingreso al tanque, que pudieran ampliarse. La macromedición no es más que la medición de agua cruda, procesos de tratamiento, agua tratada, niveles de los tanques del agua a distribuir y finalmente por sectores en redes de distribución. Esto significa realizar un programa de agua no contabilizada en la cual se estipulen los siguientes puntos:

- Macromedición
- Sectorización
- Administración de presiones
- Control de consumo mínimo nocturno
- Catastro de redes de acueductos y censo de usuarios
- Micromedición
- Gestión comercial y facturación
- Búsqueda de reducción y control de fugas

De esta forma se podrán evaluar las condiciones hidráulicas reales del sistema y un programa de sectorización que permita delimitar las zonas y sectores de servicio a partir de criterios operacionales, topográficos, geográficos.

El principal objetivo es el disponer de una máxima flexibilidad en la operación de la red y así obtener de cada sector las variables operativas básicas, de tal manera que permitan asignar de forma racional y objetiva la operación del sistema.

Realizar un control del consumo mínimo nocturno, así como el censo de usuarios y finalmente un programa de micromedición. Todos estos parámetros ayudarán a determinar los elementos necesarios para dejar preparado el sistema de dosificación de cloro gas en sus futuras ampliaciones.

5.3. Costo de mantenimiento anual

El cloro sin duda alguna es el desinfectante más importante que existe, debido que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser fácil su utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles. Uno de los factores que debe de tomar en cuenta la institución ABASTESA es el costo de mantenimiento anual.

Los equipos Superior de inyección de cloro gas, tienen en sus partes internas un tiempo de vida útil de 3 años. Cuando se instala un equipo, este viene dotado de un *kit* de mantenimiento, el cual incluye únicamente partes internas del dosificador e inyector que están compuestos por empaques, únicamente.

Este *kit* tiene un valor de treinta mil quinientos quetzales exactos (Q 30 500,00), dividido en los tres años que duran estas partes, tiene un costo anual de diez mil ciento sesenta y seis quetzales con sesenta y seis centavos (Q 10 166,66).

Los costos de operación y mantenimiento, asociados con la alimentación de cloro y gases de amoníaco, así como soluciones de hipoclorito y sales de amoníaco, varían según el tipo de producto químico y el tamaño y complejidad del equipo. El presupuesto para los costos anuales de operación y mantenimiento varía de 10 a 20 por ciento de los costos del equipo. Los fabricantes de equipos proporcionan una lista de los repuestos recomendados que como mínimo deben estar disponibles.

La mayoría de los fabricantes capacitan al personal de la planta de tratamiento en el mantenimiento y servicio de su equipo. Además, algunos fabricantes proporcionan un programa de intercambio para posibilitar que sus equipos reciban mantenimiento en sus instalaciones. Esto permite al personal de operaciones enviar el equipo a reparación, mientras se instala una unidad de repuesto o intercambio para que opere durante el período de reparación.

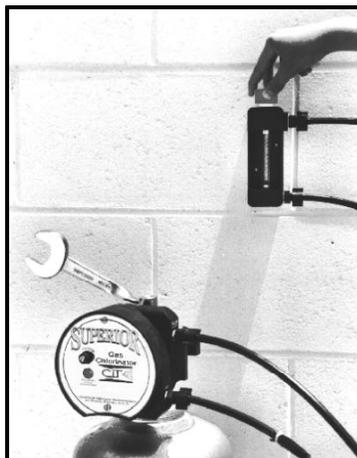
5.4. Procedimiento para la revisión del funcionamiento del dosificador de cloro gas

El cloro gas tiene una densidad de dos y media veces la del aire, por lo que tiende a acumularse en sitios bajos si se escapa a la atmósfera. Los cilindros y contenedores de cloro deben estar almacenados en zonas frescas y secas, relativamente aislados y protegidos contra la intemperie y los cambios bruscos de temperatura.

El cloro debe ser usado de acuerdo con la orden de llegada, debido a que los empaques de las válvulas pueden llegar a endurecerse después de un tiempo largo de almacenamiento, incrementado la posibilidad de fugas. El sistema de cloración está activado o en funcionamiento, siempre y cuando el equipo de bombeo de agua esté activado, la cantidad a dosificar de cloro es variable, dependiendo de la demanda del consumo de agua; de acuerdo con esto será calibrada en el rotámetro convenientemente, de manera que la concentración de cloro esté dentro de los límites permisibles.

Es importante indicar que el sistema de cloración se prende y se apaga con la bomba de pozo en funcionamiento. A continuación se resumen los pasos a seguir para el buen funcionamiento del sistema de cloro gas. Se debe verificar que el sistema de bombeo esté funcionando correctamente, luego activar el sistema de cloración girando la válvula del cilindro un cuarto de vuelta o media vuelta en sentido antihorario, para dejar que el sistema se presurice y empiece a trabajar.

Figura 36. **Diagrama instalación rotámetro remoto y dosificador**



Fuente: empresa ABASTESA.

Es importante verificar el rotámetro de tal forma que la esfera negra se ubique por encima de la dosificación mínima que es de 6 lb/día. Los niveles de dosificación podrán ser modificados en función de los resultados obtenidos de los análisis de control de cloro residual.

Figura 37. Diagrama instalación rotámetro y dosificador juntos



Fuente: empresa ABASTESA.

6. MANEJO SEGURO DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN

Normalmente el cloro contiene agua disuelta (no libre) hasta un máximo de 100 ppm a temperaturas mayores de 6°C. Por debajo de 5°C, el contenido de agua disuelta pasa a agua libre (hidratación de cloro); a esta temperatura, por reacción del cloro con el agua libre, comienza un proceso de corrosión interna del contenedor.

En ambientes muy húmedos una tasa elevada de descarga provoca la formación de condensado de agua en las paredes externas de los cilindros. También al hacer los cambios de cilindros, parte del cloro puede escapar de la tubería de conexión y reaccionar con el agua condensada, provocando corrosión externa en la válvula de cilindro.

La DOT establece que toda empresa transportista debe contar con personal calificado y planes de acción para atender cualquier eventual emergencia las veinticuatro horas del día, indicando el número telefónico para dichas emergencias. Para ello se creó 'Chlorep' (Plan de emergencia de cloro) entre Estados Unidos de Norte América y Canadá, en 1973.

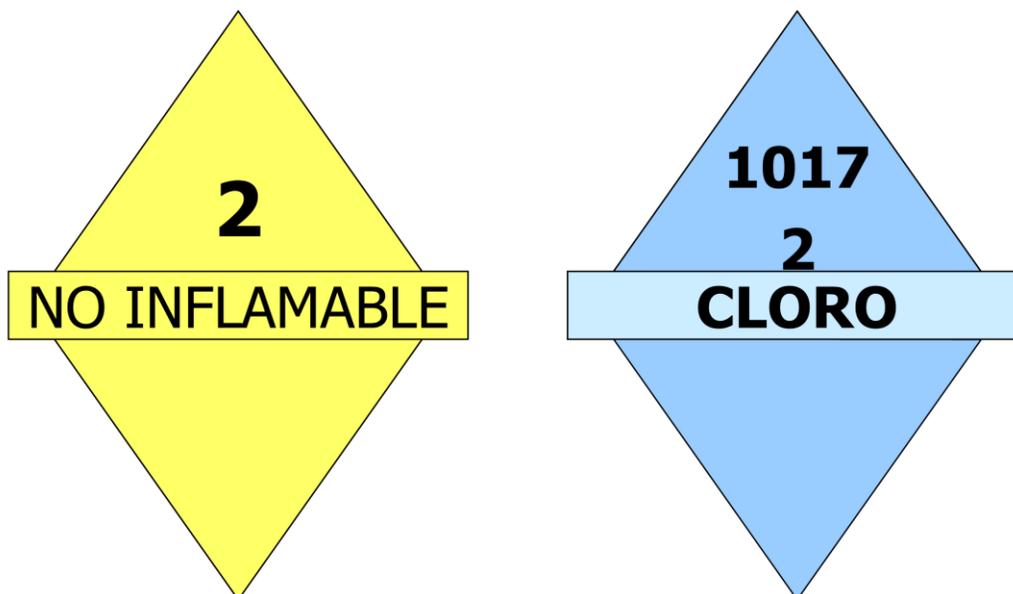
6.1. Procedimiento para el transporte y manejo de cloro

El cloro es transportado como un gas comprimido en estado líquido, para ello se utilizan recipientes a presión debidamente certificados para este fin. El transporte de cloro está regulado internacionalmente y clasificado como producto peligroso.

El cloro seco normalmente no reacciona con los metales, especialmente con el cobre y el acero al carbón. El cloro con agua es extremadamente reactivo y oxida los metales como cobre y el acero al carbón. Los metales inertes al cloro son el oro, platino y talano.

Los cilindros pueden ser transportados en camiones por carreteras y autopistas. Los camiones tienen que tener adecuados sistemas de sujeción según el tipo de contenedor. Los camiones deben tener placas de advertencia que indiquen la naturaleza del producto transportado, tal como se indica en la figura 39. El número 2 en ambos casos indica emanación de gas resultante de presión o de una reacción química; el número 1017 es el código que asignan las Naciones Unidas para cloro gas, el cual altamente corrosivo.

Figura 38. **Placas de advertencia para camiones que transportan cloro**



Fuente: elaboración propia.

Los contenedores deben ser manejados con sumo cuidado. Durante el transporte y almacenamiento los capuchones siempre deben estar colocados, los contenedores, nunca deben dejarse caer o golpearse con objetos contundentes.

Deben bajarse y montarse del camión con elevadores adecuados para su fin. Estos cilindros deben moverse de un lado a otro en áreas planas, usando carretillas con cadena. Nunca se debe colgar con sogas y menos del cuello de la botella.

6.2. Método de control de emergencia para el manejo de los equipos de cloro gas

Una situación de emergencia puede ocurrir durante la manufactura del producto, su uso y transporte. Las consecuencias se pueden mitigar siempre que se cumplan las disposiciones y normativas emitidas por las asociaciones de industrias químicas, las entidades de gobierno que norman este tipo de producto y cuerpo de bomberos.

Debe de existir un plan escrito que responda a los diferentes tipos de emergencia, además del personal debidamente entrenado y familiarizado con el producto que está manejando, pleno conocimiento de los planes de emergencia y estar dotado de los equipos de seguridad propios para atender las distintas emergencias.

La seguridad en el manejo del cloro depende, en gran medida, de la eficacia del entrenamiento de los empleados, de las adecuadas instrucciones de seguridad y del empleo del equipo apropiado.

El empleador es responsable del entrenamiento de sus empleados y de la documentación de ese entrenamiento como corresponda, según lo exigido por la reglamentación. El empleado es responsable por la ejecución de los procedimientos operativos correctos con seguridad y la utilización correcta del equipo de seguridad suministrado.

El entrenamiento de los empleados deberá incluir: instrucción y cursos periódicos de actualización en las operaciones del equipo para el cloro y manipulación de envases de cloro, instrucciones sobre las propiedades y efectos fisiológicos del cloro.

Una hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS) se podrá obtener de los proveedores de cloro. Instrucciones sobre cómo informar a las autoridades competentes todas las fallas del equipo y escapes de cloro, y las instrucciones y entrenamientos periódicos referentes a:

- Localización, propósito y empleo del equipo de emergencia para el cloro, el equipo contra incendios, alarmas de incendio y el equipo de desconexión general, así como las válvulas e interruptores. Uso de *kits* de emergencia, como los *kits* de emergencia A del Instituto del cloro, y del recipiente de recuperación, si forman parte del equipo de emergencia y de su planificación en esa empresa.
- El entrenamiento deberá incluir la instalación efectiva de los *kits* en los cilindros. Localización, propósito y empleo del equipo de protección personal. Localización, propósito y utilización de duchas de seguridad, lava ojos; localización, propósito y utilización del equipo especializado de primeros auxilios.

6.3. Identificación y detección de fugas

Inmediatamente que se detecta la presencia de cloro en el aire, personal autorizado y entrenado con los equipos necesarios de protección tiene que iniciar la investigación; el resto del personal deberá permanecer fuera del área afectada.

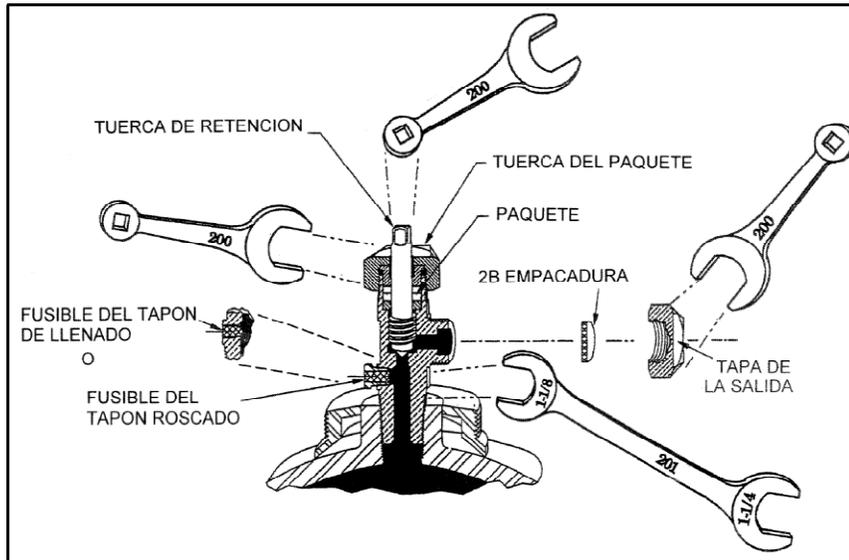
La localización de una fuga en un sistema que contenga cloro, usualmente puede ser detectada por la reacción del vapor de amoníaco con el escape de cloro. La reacción es una densa nube blanca. La manera más conveniente es usar agua de amoníaco y esparcirla con una botella plástica.

Se debe direccionar el vapor si se sospecha que tiene una fuga. Todo esfuerzo en detectar la fuente de cualquier fuga debe ser manejado con cuidado y estar consciente de los posibles riesgos o peligros, y usar todo el equipo de protección necesario.

Las fugas se pueden detectar en los puntos que a continuación se indican:

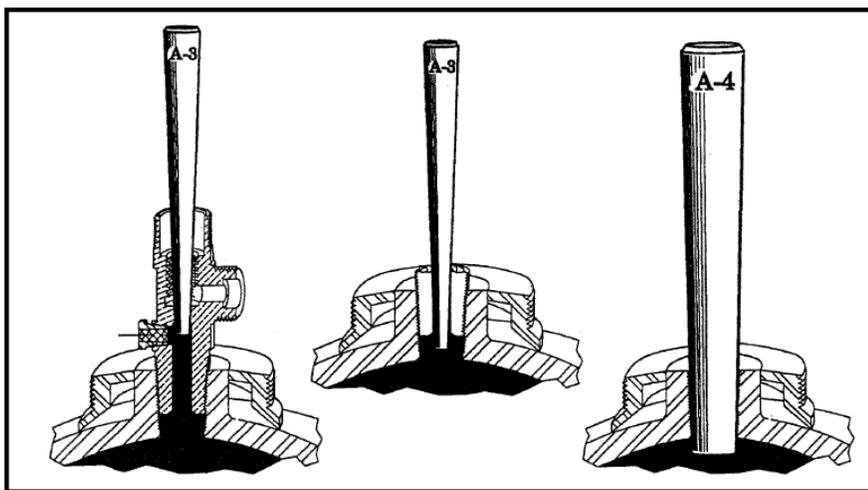
- Válvula de retención
- A través del asiento de la válvula
- Rosca de la válvula de admisión
- Ensamble del perno de la válvula
- Rotura en la válvula
- Escape en la válvula (debido al daño de la rosca)
- Rosca del fusible
- Fusible de tapón de metal
- Paredes del cilindro

Figura 39. **Fuga válvula retención, asiento válvula, y rosca válvula admisión**



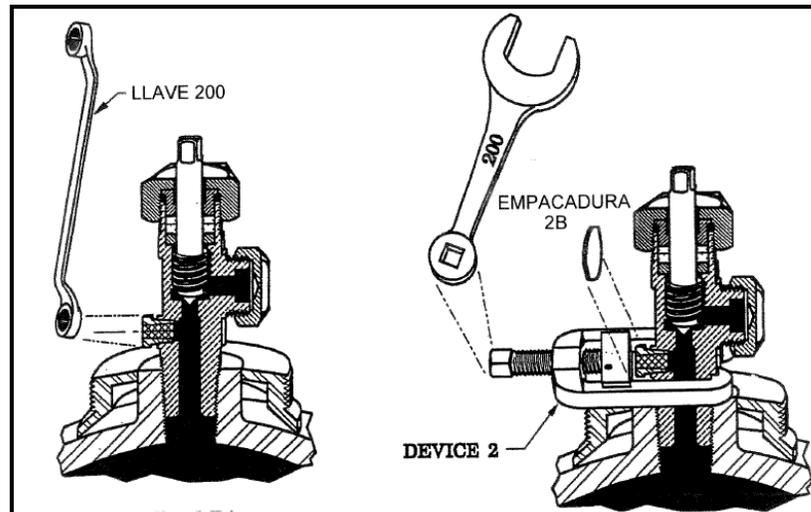
Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 3.

Figura 40. **Fuga en perno de válvula, rotura en válvula y daño en rosca**



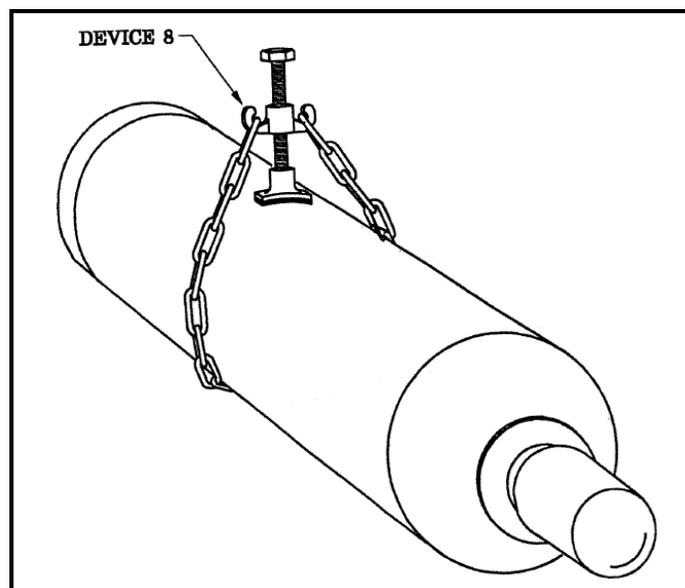
Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 4.

Figura 41. Fuga en rosca fusible y fusible tapón de metal



Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 5.

Figura 42. Fuga en paredes de cilindro



Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 6.

6.4. Equipos para control de fugas de cloro gas

La exposición al cloro podrá ocurrir siempre durante la manipulación o utilización del cloro. El equipo de protección personal para uso de emergencias deberá estar disponible lejos de áreas de probables contaminaciones. Si el cloro se emplea en lugares bastante lejanos, el equipo de protección personal deberá estar disponible cerca de cada lugar de uso.

6.4.1. Descripción de los equipos de protección personal

Todo el personal que ingrese en áreas donde se almacena o manipula cloro deberá cargar consigo, o tener inmediatamente disponible, un respirador del tipo de escape. El equipo de respiración se deberá seleccionar con base en la evaluación de los riesgos y del grado de exposición potencial. Los aparatos respiratorios de cloro del tipo cartucho o máscaras de gas de cobertura total del rostro ofrecen protección temporaria adecuada, con tal que la cantidad de oxígeno presente en la atmósfera sea mayor que el 19,5% y que la concentración de cloro no exceda la capacidad certificada del respirador.

Figura 43. **Aparato respirador tipo cartucho**



Fuente: empresa ABASTESA.

La necesidad de protección de los ojos contra el cloro deberá formar parte de la evaluación del equipo de respiración apropiado.

El equipo respiratorio autónomo de presión (SCBA) de cobertura total del rostro es necesario para la ejecución de tareas, en las que el cloro pueda estar presente, sin que un muestreo del aire certifique que se encuentra en una concentración tal, que un nivel más bajo de protección respiratoria ofrezca protección. Los aparatos de respiración autónomos deberán estar localizados en locales cerca de las áreas de uso y almacenamiento de cloro, rápidamente accesibles a los combatientes entrenados.

Entrenamientos regulares y documentados son exigidos para asegurar la habilidad de uso del aparato de respiración autónoma. Si se hacen acuerdos para la utilización de un grupo externo aprobado en combate a las emergencias, entonces los combatientes de emergencias y los aparatos de respiración autónomos se podrán encontrar fuera de los locales. Son necesarias pruebas de ajuste y programas regulares de mantenimiento para el equipo de respiración.

Figura 44. **Equipo autocontenido**



Fuente: empresa ABASTESA.

Además de los equipos mencionados, es importante que todo sistema de cloración a gas tenga en sus instalaciones duchas-lavaojos, las cuales son necesarias para cualquier contaminación del personal.

Figura 45. **Ducha y lava ojos**



Fuente: empresa ABASTESA.

6.4.2. Descripción general de los componentes del kit A de emergencia de cloro gas

El equipo de emergencia “A” diseñado por el “Chorine Institute” deberá ser usado para cilindros de 100 y 150 libras de capacidad, en servicios de cloro únicamente. El equipo está diseñado para ser usado con todas las configuraciones estándar de los cilindros de cloro gas. Todo el personal de ABASTESA debe ser entrenado para su uso y contar con todo el equipo de protección personal, además del pleno conocimiento de las propiedades del cloro. Los componentes de un equipo de emergencias tipo “A” se describen en la siguiente tabla.

Tabla XV. Componentes equipo emergencia para cilindros 150 lbs

LISTA DE PARTES		
Número de parte	Descripción	Cantidad por equipo
1A2	Capucha de montaje	1
1BRV	Empacadura, moldeada	2
1C1	Montura	1
1D1	Capucha del tornillo	1
1K1	Capucha del tornillo	3
1EFP	Base ensamblada	1
1R	Rampa	1
2B	Empacadura, 15/16" X 1/16"	10
2	Abrazadera de montaje	1
8 A	Cadena	1
8 B	Montura	1
8 C	Capucha del tornillo	1
8 D	Parcho	1
8 EV	Empacadura, Vitón	2
200	Llave, 3/8 sq., 1-1/4 final abierto x 7-1/4 largo	1
201	Llave, extremo abierto, 1-1/4 x 1-1/8 x 12-3/8 largo	1
203	Llave doble caja, 7/16 x 9/16 x 8- 3/4"	1
A-1	Martillo, maquinista, 48 oz.	1
A-2	Sierra, 10" y 3 hojas	1
A-3	Pernos Drift, 9/32 x 1/2 x 6"	2
A-4	Perno Drift, 7/8 X 1-1/4 x 8"	1
A-5	Aro, paquete de válvulas	5
A-6	Sello del carro de metal	15
A-7	Empacadura de saco	1
A-8	Raspador de pintura, 1-1/4	1
A-9	Montura para válvula	1
A-10	Adaptador para válvula	1
A-12	Arandela, válvula de salida	5
A-13	Caja plástica	1
A-14	Lima	1
144	Herramienta para doblar	1
151A	Manual de instrucciones y manual del cloro	1

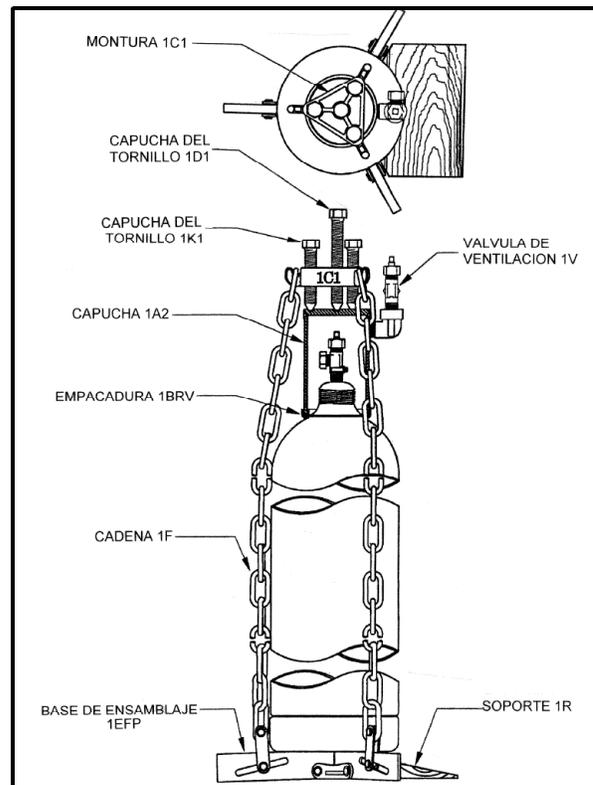
Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 16.

6.4.3. Proceso de ensamble del equipo para tres tipos de fugas comunes en cilindros de cloro gas

La entidad de agua debe capacitar a su personal en los diferentes escenarios que se presenten al momento de una fuga de cloro gas, para ello se describirá brevemente los tres tipos de fugas que se presentan con más frecuencia.

El primero es el ensamble de la capucha de la válvula, el cual se detalla en el anexo 3 y puede describirse en la siguiente figura:

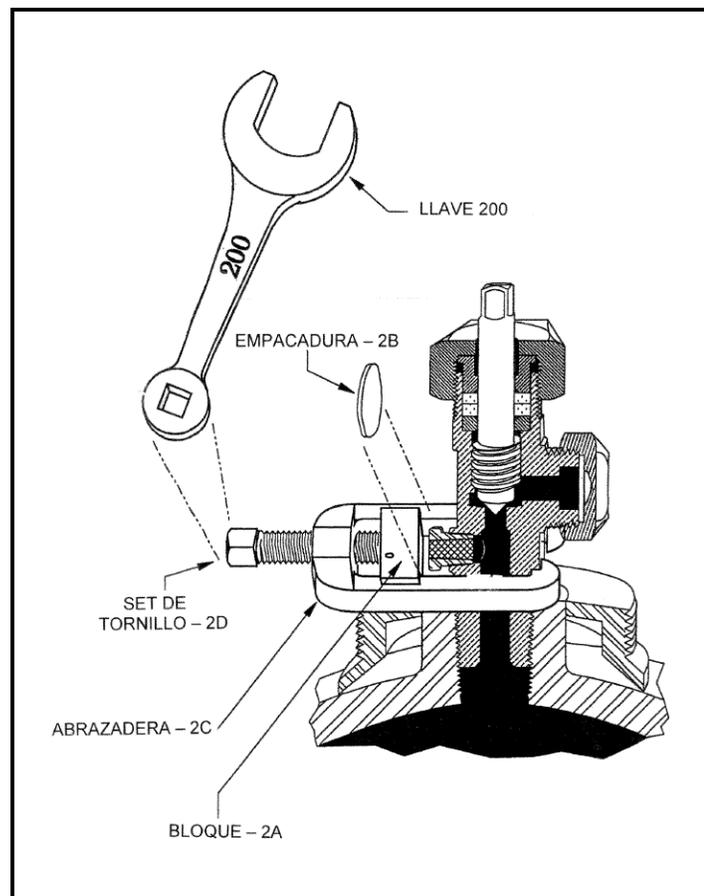
Figura 46. Ensamble para una fuga en la capucha de la válvula



Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 9.

El segundo tipo de fuga se presenta en la abrazadera para el fusible de tapón (ver anexo 4), y se puede ver el diagrama en la siguiente figura:

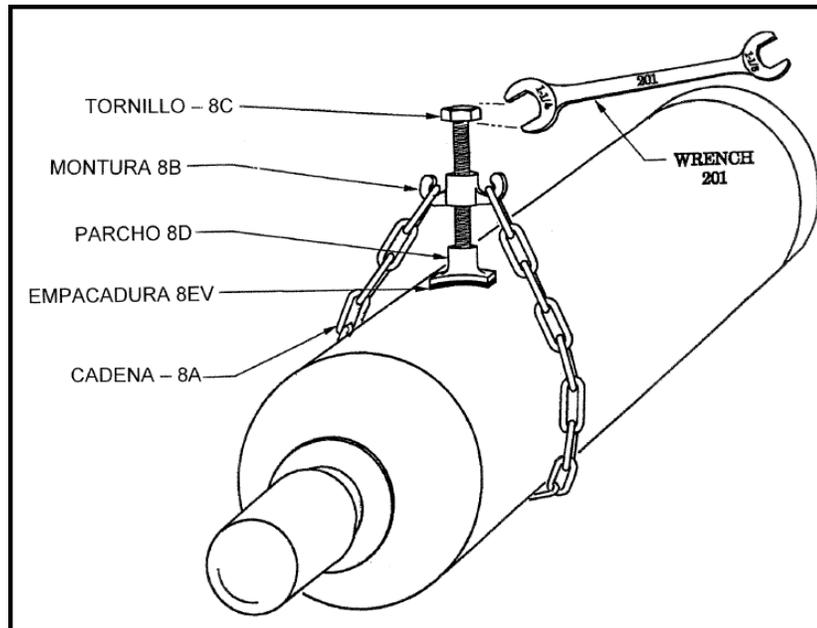
Figura 47. **Ensamble para una fuga en la abrazadera**



Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 12.

Por último están las fugas más frecuentes por el deterioro en los cilindros, las cuales se presentan en las paredes laterales del mismo (ver anexo 5). Se quiere dejar claro que si existen fugas en la parte inferior del cilindro, este equipo no podrá ser utilizado debido que no está apto para dicho tipo de fugas.

Figura 48. Fuga en paredes laterales de cilindro cloro gas



Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de emergencia "A". p 14.

Para cada una de las fugas descritas con anterioridad el riesgo de estar expuesto a cantidades altas de gas cloro puede causar irritación en la piel, los ojos y nariz y las membranas mucosas; por tanto se proponen los siguientes mecanismos para evitar accidentes en el manejo del dosificador cloro gas:

- Proporcionar instrucciones y supervisión apropiada a los trabajadores encargados con la responsabilidad del equipo.
- Proporcionar aparatos respiratorios autocontenidos apropiados en las áreas donde se almacene o se use el cloro.
- Mantener todos los aparatos respiratorios fuera del área de cloro.

- Preparar planes de evacuación de las áreas donde pueda haber fugas de cloro. Recordar irse cuesta arriba y contra el viento.
- Nunca almacenar materiales flamables o combustibles cerca de contenedores de cloro.
- Nunca aplicar calor directamente a un contenedor de cloro.
- Nunca intentar soldar tubería “vacía” de cloro sin haberla purgado primero.
- Instalar duchas de seguridad e instalaciones para lavado de ojos cerca del equipo de cloro.
- Si hay una fuga, las reparaciones deben hacerse por dos personas, por lo menos.
- Nunca rociar agua en los contenedores con fugas; esto puede empeorar la fuga.
- Al entrar en un área de equipo, respirar superficialmente, hasta estar seguro de que no haya fuga de gas cloro.
- Utilizar el equipo de cloración para deshacerse directamente del gas cloro.
- Asegurar los contenedores de cloro con cadenas, calzos, o pernos.

CONCLUSIONES

1. El método de desinfección de cloro gas es importante, ya que asegura una desinfección fiable pues evita las enfermedades de origen hídrico, además de ser una solución tecnológica viable y económica en donde no se cuenta con energía eléctrica y las condiciones de presión no son aptas para la instalación directa en la conducción.
2. Aunque la estandarización de un sistema de desinfección con dosificador al vacío, sin corriente eléctrica de cloro gas no es una alternativa que se adapte a cualquier condición de cada sistema; se pueden determinar cinco aspectos que deben tomarse en cuenta para el diseño del sistema de cloración a gas: temperatura, pH, caudal, análisis del agua y presión en el punto a inyectar.
3. Se pretende que esta propuesta pueda ser operada por la entidad ABASTESA por lo cual será necesario un programa de capacitación donde puedan desarrollar las técnicas necesarias para la selección, instalación, operación y mantenimiento de un sistema de cloro gas. Por lo cual va a requerir un trabajo constante durante la presentación de la propuesta y mejorar el sistema de desinfección actual.
4. La popularidad del cloro en la desinfección se basa en muchos factores en especial los que se enumeran a continuación: germicida potente, cualidades residuales, control del gusto y olores, control del crecimiento biológico y control químico.

5. En la actualidad ABASTESA cuenta con un sistema de desinfección de cloro por medio de tabletas de hipoclorito de calcio, el cual no es la mejor opción para un sistema de distribución y conducción de agua que maneja caudales altos, debido que no existe un control en la erosión de las tabletas; por tanto la dosificación no es homogénea y es evidente que varía incrementando el gasto del producto o bien dejando de dosificar la cantidad correcta de cloro, incurriendo en posibles multas por no estar en los parámetros que indica la norma.

6. Para una operación segura en el sistema de desinfección de cloro gas se debe elaborar una bitácora mensual para determinar el buen estado del sistema de cloración y cambiar obligatoriamente el empaque de plomo que lleva el dosificador en la boquilla de extracción cada vez que se cambie a un cilindro nuevo. El monitoreo del cloro residual se realizará una vez por semana, eligiendo puntos estratégicos de los poblados que se abastecen con el fin de determinar que los niveles de cloro sean los adecuados.

7. En los equipos de cloración a gas se debe tener presente que la difusión de cloro en tubería se dificulta cuando la contrapresión supera los 10 mca; en cuyo caso se debería optar por seleccionar cloradores con funcionamiento al vacío, operado por sistema de bombeo *booster*. En la práctica común, un operador puede ajustar la dosis de cloro gas tres a cuatro veces, en un turno de 8 horas. Se debe tener presente que la extracción de cloro gas no debe exceder de 18 kg al día, ya que una extracción mayor producirá el congelamiento del cilindro debido a la rápida caída de presión.

8. Para evitar accidentes, una persona se encargará del mantenimiento del equipo de cloro gas, quien estará a cargo de vigilar que se realice el monitoreo de los equipos. Se debe realizar un chequeo diario de la unidad de cilindro, rotámetro, bomba de vacío, inyector a gas, dosificador y el buen estado de las mangueras de conducción del cloro gas, para que se garantice la seguridad del personal y el poblado más próximo, así como el buen desempeño del equipo brindando con ellos un tiempo de vida de más de 10 años.
9. El paso inmediato para una situación de emergencia es corregir el escape, con el equipo de control de fugas tipo "A". Nunca se debe entrar a concentraciones mayores de 10 ppm sin el equipo de seguridad y personal de apoyo. Siempre debe estar el personal de apoyo en toda emergencia. Al presentarse una fuga, debe evacuarse a todas las personas de la zona involucrada y estas deberán mantenerse en sentido contrario del viento y a una altura superior a la de la zona de fuga. Reportar el accidente al supervisor de turno de mantenimiento y este al distribuidor, para la toma de medidas correctivas.
10. La puesta en marcha de un sistema de cloración debe basarse en cuatro factores que pueden influir en el buen desempeño del equipo: el caudal a clorar, temperatura promedio de agua, pH del agua así como la dosis a emplear que constituyen la demanda de cloro más el cloro residual que exigen las normas. En el caso del tanque Labor de Castilla, el mismo cuenta con las instalaciones adecuadas para instalar el equipo de dosificación al vacío, por medio de un inyector instalado dentro del tanque de distribución.

11. Para el sistema de cloración a gas del tanque Labor de Castilla se determinó que el protocolo de cloración consta de 3 etapas: primero se debe estimar la demanda de cloro, lo cual permite una desinfección correcta. Segundo establecer el tiempo de contacto de la solución a inyectar. En general se considera un pH inferior a 8, puede dejarse el tiempo de contacto a 30 minutos, esto con el fin de no dejar puntos muertos en el tanque de distribución.

12. Una vez desinfectada el agua, se ha de comprobar, mediante un *kit* de determinación de cloro, que la cantidad de cloro residual en el punto más alejado de la red de suministro está dentro de lo estipulado por las autoridades competentes. En caso de ser demasiado bajo, se tendría que aumentar la dosis de cloro suministrada, con posterioridad a la desinfección.

RECOMENDACIONES

1. Usar válvulas con asientos de Vitón en todos los puntos que se encuentren después del eyector.
2. Realizar una apertura y un cierre de las válvulas al menos cada 15 días; las válvulas que no son operadas frecuentemente suelen trabarse (sobre todo las que sus asientos no son de Vitón), esto ayuda a prevenir una mala operación del sistema.
3. Considerar un sistema doble para reparaciones o mantenimiento, esto va a depender del sistema; lo importante para todo sistema es no suspender la dosificación para hacer mantenimientos o reparaciones, de esta forma se logra una cloración uniforme acorde a las normas del país
4. Estar pendiente del mantenimiento que se deben hacer a los equipos al menos una vez al año, aunque estos no presenten problemas.
5. Considerar un lote de válvulas adicionales, debido que a veces durante los montajes, se rompen o dañan; debido al tipo de equipos, es difícil adquirir localmente lo cual retrasan el tiempo de instalación.
6. Es necesario hacer pruebas en los equipos antes de que los mismos sean instalados y puestos en funcionamiento, esto con el fin de buscar errores en la instalación o bien defectos de los equipos para realizar los ajustes recomendados por el fabricante.

7. Las medidas correctivas serán ejecutadas solo por el personal adiestrado y estos deberán emplear el equipo de protección personal recomendado. Identificar de inmediato en qué recipiente está fugando cloro y por dónde, rosear la solución de hidróxido de amonio por aquellos lugares donde pudo haber ocurrido la fuga; si el vapor de amoniaco se dirige hacia la fuga, se formará una nube blanca indicando la fuente de la pérdida. Si un escape ocurre en un equipo o tubería, se deberá cortar el suministro de cloro, aliviar la presión y realizar las reparaciones necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association. *Agua: su calidad y tratamiento*. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano América, 1967. 471 p.
2. ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3a ed. Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia: McGraw-Hill, 2000. Tomos 1 y 2. 836 p.
3. The Chlorine Institute. *Equipo de emergencia "A"*. Washington, D.C.: The Chlorine Institute, 2001. 17 p.
4. COGUANOR. *Cartilla ambiental cuidado de la salud y el ambiente: Norma guatemalteca obligatoria agua potable*. COGUANOR NGO 29.001.98. Guatemala: DRPSA, 2003. 20 p.
5. ESPINOZA ZACARÍAS, Karina. *Determinación de la calidad del agua de distribución de la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de la aplicación del método de cloración de acuerdo a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Odontóloga. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Odontología, 2002. 93 p.

6. GONZÁLES ZAMORA, Jorge Mario. *Análisis bacteriológico del agua de consumo de Mixco, Guatemala*. Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas, 1977. 36 p.
7. PÉREZ COTA, Marta Yolanda. *Cloración del agua como medida preventiva del cólera y evaluación de los conocimientos y practicas a nivel domiciliar. Evaluación de calidad de cloración del agua, conocimientos y prácticas en habitantes del casco urbano de la cabecera departamental de Chimaltenango*. Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina, 1993. 49 p.
8. SAC ESCOBAR, Edwing Otoniel. *Evaluación fisicoquímica y microbiológica para determinar la calida de los abastecimientos de agua potable de la nueva red de distribución de la zona media urbana del municipio de Quetzaltenango y propuesta de un sistema de cloración*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 178 p.
9. _____. *Water and wastewater operators chlorine handbook*. Pamphlet 155. Washington, D.C.: The Chlorine Institute, 1999. 47 p.
10. TORRES SOLARES, Marco Antonio. *Análisis bacteriológico del agua de consumo de Génova, Costa Cuca Quetzaltenango*. Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Médicas, 1977. 32 p.

11. UNDA OPAZO, Francisco. *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano América, 1967. 861 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Norma guatemalteca obligatoria Agua Potable COGUANOR NGO.29.001.98**

utiliza el citrato como única fuente de carbón. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal.

4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.1. Características físicas.

Tabla 1. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto (2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.		

4.1.1. Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad de 100 μ S/cm a 750 μ S/cm a 25°C.

4.2. Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 μ S/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

Fuente: Norma guatemalteca obligatoria agua potable, 2000. p 4.

Anexo 2. **Norma guatemalteca obligatoria Agua Potable COGUANOR
NGO.29.001.98**

(1)	El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de <i>Escherichia coli</i> y ciertos virus.
(2)	En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.
(3)	En unidades de pH.

4.3. Agua clorada. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en la tabla 2 se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que esté "libre" y que sirva como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica.

4.4. Límites de toxicidad. En la tabla 3 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad.

Tabla 3. Relación de las sustancias inorgánicas con significado para la salud, con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN')	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Piomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

4.5. Relación de las sustancias biocidas con sus respectivos límites máximos permisibles. Los nombres de las sustancias biocidas orgánicas sintéticas, así como el límite máximo permisible se describen en la tabla 4.

Fuente: Norma guatemalteca obligatoria agua potable, 2000. p 5.

Anexo 3. Chlorine Institute, Inc. The Chlorine Institute Emergency Kit A

3. ENSAMBLAJE DE LA CAPUCHA DE LA VALVULA - INSTRUMENTO 1

PASOS - VER FIG 3.1	EQUIPOS
<p>1. Remover la proteccion de la valvula si hay alguna. Posicionar el cilindro de tal manera que la fuga de la valvula este en la parte superior.</p> <p>NOTE: Si no puede remover la proteccion de la valvula, la CAPUCHA (1A2) debera colocarse sobre ella.</p>	
<p>2. Remueva la tapa de la salida que se encuentra en la VALVULA DE VENTEO (1V) sobre de la CAPUCHA (1A2) y abra la VALVULA.</p>	LLAVE 200
<p>3. Prepare la BASE ENSANBLADA (1EFP) para asegurar la correcta posicion y la estabilidad la base de los segmentos. Asegure RAMP (1R) entre las dos base del segmento por medio de un gancho conectado de tal manera que prevea cualquier deslizamiento de la BASE ENSAMBLADA cuando el cilindro se esta posicionando.</p>	BASE ENSAMBLADA 1EFP RAMP 1R
<p>4. Enrolle verticalmente el cilindro sobre RAMP (1R) y centre la posicion de la BASE ENSAMBLADA (1EFP).</p>	
<p>5. Limpie los hombros del cilindro: Use el RASPADOR (A-8) si la pintura esta floja o desigual.</p>	RASPADOR A-8
<p>6. Inspeccionar las condiciones de la EMPACADURA (1BRV). (ver la pagina 13 acerca del "Equipo de Mantenimiento") Coloque la EMPACADURA (1BRV) sobre la CAPUCHA (1A2). Colocar la CAPUCHA (1A2) con la EMPACADURA (1BRV) sobre la fuga de la VALVULA.</p>	CAPUCHA 1A2 & EMPACADURA 1BRV
<p>7. Ajuste la CAPA DEL TORNILLO (1D1) y (1K1) en la MONTURA (1C1) de este modo las puntas de los tornillos pueden extenderse solo ligeramente por debajo de la MONTURA (1C1).</p>	CAPUCHA DEL TORNILLO (1) 1D1, (3) 1K1, LLAVE 201, YUGO 1C1
<p>8. Colocar la MONTURA (1C1) en la posicion sobre el tope de la CAPUCHA (1A2), posicione los tornillos en los agujeros que estan en el tope de la CAPUCHA (1A2). Asegurese que las CADENAS (1F) esta derecha y no doblada. Enganche la CADENA (1F) sobre las orejas de la MONTURA (1C1) usando la apropiada conexion evitando que la CADENA quede floja.</p>	CADENA 1F (CON 1EFP ASSY) CAPUCHA 1A2 MONTURA 1C1
<p>9. Ajuste con la mano la CAPUCHA DE LOS TORNILLOS (1D1) y (1K1). Ajuste la capucha del TORNILLO (1K1) igualmente forzando la CAPUCHA(1A2) y la EMPACADURA (1BRV) contra el hombro del cilindro. Mantenga la CAPUCHA DEL TORNILLO (1D1) manualmente ajustada contra el centro de la CAPUCHA (1A2). Si la fuga persiste apriete la CAPUCHA DEL TORNILLO (1K1) nuevamente en el area donde se presenta la fuga.</p>	LLAVE 201

7

<p>PRECAUCION: Chequear el pie del anillo en la base del cilindro por posible deterioro debido a las extremas condiciones de presion. Asegurece que las CADENAS (1F) estan contra los lados de cilindro en la base del mismo.</p>	
<p>10. Cierre la VALVULA DE DESAHOGO (1V) sobre la CAPUCHA (1A2).</p>	LLAVE 200
<p>11. Realizar los test de fuga en la parte alrededor de las EMPACADURAS (1BRV). Apriete la CAPUCHA DE LOS TORNILLOS (1K1) si es necesario.</p>	LLAVE 201

Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de Emergencia "A". p 7.

Anexo 4. Chlorine Institute, Inc. The Chlorine Institute Emergency Kit A

4. ABRAZADERA PARA EL FUSIBLE DE TAPON - INSTRUMENTO 2

PASOS - VER FIG 4.1	EQUIPOS
<p>NOTE: Remueva la capucha que protege la valvula, si hay alguna. Coloque el cilindro de este modo la valvula este en la parte superior.</p> <p><u>Si la fuga esta en la rosca del fusible de tapon:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corte el fusible al ras con el cuerpo de la valvula, lije la superficie hasta que quede suave. 2. Afloje el SET DE TORNILLOS (2D) y coloque la ABRAZADERA (2C) sobre la valvula que tiene fuga. <p>NOTE: No es necesario remover la capucha de la valvula de salida.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Coloque la EMPACADURA (2B) entre la fuga del fusible de tapon y el BLOQUE (2A). 4. Apriete el SET DE TORNILLOS (2D) hasta que la fuga se detenga. 5. Examine para ver si hay fugas. Apriete el SET DE TORNILLOS (2D) hasta que sea necesario. <p><u>Si la fuga es el material del fusible:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Si la cara del fusible esta dañada o corroida, corte el fusible de tapon al ras con el cuerpo de la valvula, lijando la superficie hasta que este lisa. <p>NOTE: Algunas valvulas tienen el fusible de metal para llenar directamente dentro del cuerpo de la valvula, en tales casos, asegurece que la superficie de soporte de la empacadura esta limpia y libre de daños.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Afloje el SET DE TORNILLOS (2D) y coloque una ABRAZADERA (2C) sobre la fuga de la valvula. <p>NOTE: Es no necesario remover la capucha de la valvula de salida.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Coloque la EMPACADURA (2B) entre la fuga del fusible tapon y el BLOQUE (2A). 4. Ajuste el SET DE TORNILLOS (2D) hasta que la fuga se detenga. 	<p>SERRUCHO A-2 LIMA A-14</p> <p>LLAVE 200 Y ABRAZADERA 2C</p> <p>EMPACADURA 2B</p> <p>LLAVE 200</p> <p>LLAVE 200</p> <p>SERRUCHO A-2 LIMA A-14</p> <p>LLAVE 200 Y ABRAZADERA 2C</p> <p>EMPACADURA 2B</p> <p>LLAVE 200</p>

10

<ol style="list-style-type: none"> 5. Examine la fuga. Ajuste el SET DE TORNILLOS (2D) aun mas de ser necesario. <p>NOTE: Las fugas mencionadas anteriormente tambien puede ser corregidas aplicando el INSTRUMENTO 1 (ensamblaje de capucha). (ver pagina 7 para instrucciones)</p>	<p>LLAVE INGLESIA 200</p>
--	---------------------------

Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de Emergencia "A". p 10.

Anexo 5. **Chlorine Institute, Inc. The Chlorine Institute Emergency Kit A**

5. PARCHO PARA FUGA LATERALES - INSTRUMENTO 8

PASOS - VER FIG 5.1	EQUIPOS
1. De vuelta al cilindro de tal manera que la fuga quede en la posición mas alta. Verifique que la pared del cilindro alrededor de la fuga es segura antes de proceder con la aplicación del instrumento.	
2. Ajuste el TORNILLO (8C) en la MONTURA (8B) hasta el punto que el tornillo se prolonge ligeramente dentro la MONTURA (8B).	MONTURA 8B Y CAPA DEL TORNILLO 8C
3. Inserte uno de los terminales de la CADENA (8A) bajo el cilindro y extiéndalo hasta que este alcance el área de la fuga.	CADENA 8A
NOTE: <i>Asegurece que la CADENA (8A) este derecha y not doblada.</i>	
4. Centre el TORNILLO (8C) en la MONTURA (8B) y en el PARCHE (8D).	MONTURA 8B Y CAPA DEL TORNILLO 8C PARCHO 8D
5. Enganche los terminales de CADENA (8A) a las orejas que se encuentran a cada lado de la MONTURA (8B) manteniendo la CADENA (8A) tan corta como sea posible.	
6. Usar el RASPADOR (8A) si la pintura esta floja o no esta pareja. Coloque la EMPACADURA (8EV) y el PARCHO (8D) sobre la fuga.	EMPACADURA 8EV, PARCHO 8D Y RASPADOR A-8
NOTE: <i>Dos EMPACADURAS (8EV) pueden ser requeridas en algunos casos.</i>	
7. Ajuste el TORNILLO (8C).	LLAVE 201
PRECAUCION: <i>Si hay alguna evidencia de que la pared del cilindro se esta debilitando, inmediatamente descontinue el ajuste del TORNILLO (8C).</i>	
8. Examine la fuga. Ajuste el TORNILLOS (8C), si es necesario.	LLAVE 201

Fuente: The chlorine Institute, Inc. Equipo de Emergencia "A". p 13.

