



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DISPERSOR DE CLORO ARTESANAL

Guillermo René Tobías Pacheco
Asesorado por Ing. José Roberto Gavarrete Camacho

Guatemala, noviembre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN
DISPERSOR DE CLORO ARTESANAL**

TRABAJO DE GRADUACION
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
POR:

GUILLERMO RENÉ TOBÍAS PACHECO

ASESORADO POR ING. JOSÉ ROBERTO GAVARRETE CAMACHO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
VOCAL I	ING. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
VOCAL II	ING. AMAHÁN SÁNCHEZ ALVAREZ
VOCAL III	ING. JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	BR. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ
VOCAL V	BR. ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIO	ING. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JORGE MARIO MORALES
EXAMINADOR	INGA. MARTA LIDIA SAMAYOA DE HERNANDEZ
EXAMINADOR	ING. JOSE EDUARDO RAMIREZ SARAVIA
EXAMINADOR	ING. HUGO QUAN MA
SECRETARIO	ING. EDGAR JOSE BRAVATTI C.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN
DISPERSOR DE CLORO ARTESANAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de octubre de 2003.

Guillermo René Tobías Pacheco

Ingeniera
Carmen Marina Mérida Alva
Jefe del departamento de hidráulica
Facultad de Ingeniería

Estimada Ingeniera Mérida:

Atentamente le informo que he revisado el trabajo de graduación del estudiante GUILLERMO RENE TOBIAS PACHECO, con carnet No. 63,152 , quién realizó su trabajo de graduación titulado EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DISPERSOR DE CLORO ARTESANAL.

Deseo manifestarle que el estudiante anteriormente mencionado cumplió con los requisitos del trabajo de graduación en la realización de su trabajo de graduación en forma satisfactoria. Sin otro particular y agradeciendo la atención brindada a la presente,

Atentamente,

Ing. José Roberto Gavarrete Camacho
Asesor de trabajo de graduación



Guatemala, 3 de Noviembre de 2,003

Ingeniero
Carlos Salvador Gordillo García
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Gordillo:

Atentamente le informo que he revisado el trabajo de graduación del estudiante GUILLERMO RENE TOBIAS PACHECO, con carnet No. 63,152, quién realizó su trabajo de graduación titulado EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DISPERSOR DE CLORO ARTESANAL.

Deseo manifestarle que el estudiante anteriormente mencionado cumplió con los requisitos del trabajo de graduación en la realización de su trabajo de graduación en forma satisfactoria. Sin otro particular y agradeciendo la atención brindada a la presente,

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”

Inga. Carmen Marina Mérida Alva
Jefe del departamento de hidráulica
Revisor

DEDICATORIA:

A MIS PADRES

OSMAN RENÉ TOBÍAS SAMAYOA
MARÍA SALOMÉ PACHECO DE TOBÍAS

A MI ESPOSA:

ILIANA DEL ROSARIO G. DE TOBÍAS

A MIS HIJAS

ANA LUCÍA Y ANA SOFÍA TOBÍAS G.

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS

AL ING. ROBERTO GAVARRETE, MI ASESOR

A TODAS LAS PERSONAS QUE CON SU DESINTERESADA Y VALIOSA COLABORACION HICIERON POSIBLE LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VIII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	X
1. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO	
1.1 Potabilidad	3
1.2 Desinfección	3
1.2.1 Desinfección preventiva	3
1.2.2 Desinfección correctiva	4
1.2.3 Elementos y compuestos químicos para desinfección	4
1.2.4 Instrumentos y equipos	5
2. PROPIEDADES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA	
2.1 El cloro	6
2.1.1 Propiedades físicas y químicas del cloro	7
2.1.2 Ventajas y desventajas del hipoclorito de calcio	8
2.1.3 Presentaciones	8

3.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO POR EL DOSIFICADOR DE CLORO	
3.1	Dosificadores de hipoclorito de calcio	10
3.1.1	Descripción	11
3.1.2	Funcionamiento	11
3.1.3	Ventajas y desventajas técnicas	12
4.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	
4.1	Descripción	13
4.2	Construcción del modelo	14
4.3	Limitaciones físicas y técnicas	15
5.	PRUEBAS EFECTUADAS AL MODELO CONSTRUIDO	
5.1	Descripción	16
5.2	Condiciones para la prueba	17
5.3	Dimensionamiento en función del caudal a tratar	18
5.4	Pruebas efectuadas	19
6.	COSTOS DEL DISPERSOR DE CLORO DE RECIPIENTE SUMERGIDO	
6.1	Costo de construcción	21
6.2	Costo de instalación	21
6.3	Costo de operación	22
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	
7.1	Eficiencia	23
7.2	Eficacia	23

7.3	Regularidad	23
7.4	Aplicabilidad	24
7.5	Confiabilidad	24
CONCLUSIONES		25
RECOMENDACIONES		27
BIBLIOGRAFÍA		28
ANEXOS		29
APÉNDICES		32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Kit para comparaciones colorimétricas	33
2.	Materiales y accesorios	34
3.	Modelo del dispersor de cloro artesanal	35
4.	Colocación del Dispersor en el tanque	36
5.	Modelos construidos	37
6.	Certificado de análisis del cloro utilizado	38

TABLAS

I.	Características físicas del agua potable	1
II.	Características químicas que afectan la potabilidad del agua	2
III.	Valores de cloro residual para los recipientes en función del tiempo	17
IV.	Resultados de cloro residual obtenidos durante varios días	19
V.	Costo de construcción del dispersor de cloro artesanal	21
VI.	Dosificación de pastillas de cloro para diferentes recipientes	30

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Calcio
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
Gal.	Galones
GPM	Galones por minuto
H	Hidrógeno
INFOM	Instituto de fomento municipal
K	Potasio
Kg.	Kilogramos
Lbs.	Libras
Its.	Litros
Its./día	Litros por día
Its./seg.	Litros por segundo
m	Metros
mn	Magnesio
O	Oxígeno
PVC	Cloruro de polivinilo rígido
UNEPAR	Unidad Ejecutora de Proyectos de Acueductos Rurales
%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados

GLOSARIO

Aforo	Procedimiento mediante el cual se establece el caudal de una fuente de agua.
Agua potable	Es el agua que no contiene contaminación, minerales o infecciones objetables y que se considera satisfactoria para el consumo humano. Apropiaada para beber.
Caudal de agua	Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por un punto de observación determinado. Sus expresiones mas usuales son litros por segundo, metros cúbicos por día, pie cúbico por segundo, galones por minuto y millones de galones por día.
Cisterna	Depósito artificial cubierto, destinado para recolectar agua.
Conexión domiciliar	Tuberías y accesorios destinados al servicio exclusivo de un usuario, que une la tubería externa con la tubería de la red de distribución interna.
Consumo diario	Volumen total de agua potable por día que está en función de una serie de factores inherentes a localidad que se abastece.

Dotación	Volumen diario de agua potable que se le asigna a una unidad de consumo.
Red de distribución	Es el conjunto de elementos compuestos de tuberías, válvulas, hidrantes e interconexiones, que contribuyen a conducir agua a cada conexión domiciliar.

RESUMEN

El presente trabajo versa sobre el análisis de un dispersador de cloro artesanal que se pretende adaptar a un tanque de distribución de un miniacueducto, dicho dispositivo ha sido utilizado en la vecina república de EL Salvador solo que ellos lo han utilizado en pozos excavados a mano, con este estudio se tratará de investigar cómo se comporta el mismo para dispersar el cloro.

Para la realización del trabajo se colocó un dispersor de cloro artesanal en el tanque de distribución de una finca ubicada en Santa Elena Barillas, se realizaron pruebas de cloro residual con un kit para este fin, el que trabaja por medio de comparaciones colorimétricas. La duración de esta pruebas fue de 21 días, tiempo durante el cual se mantuvo una concentración de cloro de 1.5 partes por millón y el último día se suspendieron las pruebas ya que se noto una disminución de esta concentración de cloro.

Por último se estudiaron los resultados obtenidos y se sacaron conclusiones y recomendaciones.

Adicionalmente, se dan lineamientos para desinfección de pequeñas cantidades de agua utilizando productos de venta en el mercado local.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer sistemas, que utilizan tecnología apropiada, para tratamiento de agua y que son utilizados en otros países.

Específico

Estudiar un dispersor de cloro artesanal colocado en un miniacueducto, para comprobar mediante pruebas si su funcionamiento como dispersor de cloro es adecuado, confiable y si eventualmente se puede usar en nuestro medio.

INTRODUCCIÓN

La desinfección del agua es una constante preocupación de los ingenieros por múltiples razones, esta purificación consiste en eliminar las impurezas que el agua recoge en el trayecto desde las nubes hasta su recolección, para uso domestico, pasando sobre y a través de la tierra y una forma de lograrlo consiste en aprovechar la fuerza de la naturaleza, en este caso se analizará una variante del método de cloración que es de los más utilizados ya que es sencillo, eficiente y económico.

Por referencias de la Sociedad de Inspectores de Saneamiento de El Salvador sabemos que han utilizado el Dispensor de Cloro Artesanal en pozos excavados a mano, nosotros pretendemos adaptar y analizar un dispensador de cloro artesanal también conocido como dispensador de cloro de recipiente sumergido para utilizarse en tanques de distribución de miniacueductos, para comprobar su eficiencia para dispersar el cloro y tratar de dar una guía para su uso en situaciones similares a la que estudiaremos.

Este análisis se ha dividido en 7 partes:

1. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
2. PROPIEDADES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO PARA DESINFECCIÓN DEL AGUA
3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO POR UN DOSIFICADOR DE CLORO

4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO
5. PRUEBAS EFECTUADAS AL MODELO CONSTRUIDO
6. COSTOS DEL DISPERSOR DE CLORO DE RECIPIENTE SUMERGIDO
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la primera parte describimos cual debe ser la calidad del agua para el consumo humano, las partes 2 y 3 versan sobre el cloro y el trabajo de los hipocloradores, las partes 4 y 5 consisten en el trabajo práctico en donde se construye el modelo, se pone a funcionar y se realizan las pruebas y luego se muestra el cálculo de los costos, se describen los resultados obtenidos y se les analiza.

Finalmente, se dan conclusiones y recomendaciones y se anexan lineamientos para purificar el agua de consumo domestico utilizando productos de venta en el mercado local, material con el que se pretende cumplir los objetivos trazados en este estudio.

1. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El agua para ser apta para el consumo humano, debe cumplir ciertas normas para el control de su calidad, en nuestro medio, esto es regulado mediante la Norma Guatemalteca Obligatoria para Agua Potable "COGUANOR NGO 29001" dictada por la Comisión Guatemalteca de Normas -COGUANOR- Ministerio de Economía, por lo que es tarea de los Ingenieros ver que se cumplan las recomendaciones para la explotación, preservación y restitución de aquellas propiedades del agua (físicas, químicas y biológicas) que le imparten su extraordinaria importancia en las sociedades.

La Norma COGUANOR NGO 29 001, para nuestro medio establece las siguientes características físicas para el agua potable y sus límites máximos aceptables (LMA) y límites máximos permisibles (LMP)

Tabla I. Características físicas del agua potable

CARACTERISTICAS	LMA	LMP
COLOR	5.0 u	50.0 u (1)
OLOR	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
PH (2)	7.0 – 8.5	6.5 – 9.2
RESIDUOS TOTALES	500.0 mg/L	1500.0 mg/L
TEMPERATURA	18.0 – 30.0°C	NO MAYOR DE 34.0°C
SABOR	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
TURBIEDAD	5.0 Utn o Utj	25.0 Utn o Utj (3)

- (1) Unidad de color en la escala de platino-cobalto
- (2) Potencial de hidrógeno en unidades pH
- (3) Unidad de turbiedad, sea en unidades Jackson (u.t.j.) o unidades nefelométricas (u.t.n.).

La misma norma establece las características que afectan la potabilidad del agua, las cuales se indican en la siguiente tabla:

Tabla II. Características químicas que afectan la potabilidad del agua

CARACTERISTICAS	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
DETERGENTES ANIONES	0.200	1.000
ALUMINIO	0.050	0.100
BARIO	---	1.000
BORO	---	1.000
CALCIO	75.000	200.000
CINC	5.000	15.000
CLORURO	200.000	600.000
COBRE	0.050	1.500
DUREZA TOTAL	100.000	500.000
FLUORURO	---	1.700
HIERRO TOTAL	0.1000	1.000
MAGNESIO	50.000	150.000
MANGANESO	0.050	0.500
NIQUEL	0.010	0.020
SUSTANCIAS FENOLICAS	0.001	0.002
SULFATOS	200.000	400.00

Para los objetivos de este estudio la Norma COGUANOR NGO 29 001 establece para el cloro residual libre los límites máximos aceptables entre 0.3 y 0.5 mg/L y límites máximos permisibles entre 0.6 y 1.0 Mg/L.

1.1 Potabilidad

El agua potable debe ser pura y tener buen sabor, es decir debe estar libre de organismos patógenos, sustancias venenosas o fisiológicamente indeseables y adicionalmente debe ser agradable a los sentidos.

1.2 Desinfección

Desinfección es la operación o proceso mediante el cual se destruyen los organismos patógenos que transmiten enfermedades por medio del agua. Para realizar este proceso se necesita emplear un agente desinfectante que reúna al menos las siguientes características:

Capacidad de destruir los organismos patógenos que puedan existir en el agua

Tener la capacidad de actuar rápido

No debe cambiar las característica del agua ni conferirle tóxicas

Debe ser barato de fácil manejo y obtención,

Debe ofrecer facilidad en el control de su dosificación y determinación de su eficacia y debe tener efecto residual.

1.2.1 Desinfección preventiva

Consiste en aplicar desinfección al agua antes de suministrarse para su

consumo humano, esta práctica suele ser la más barata pero requiere bastante cuidado y mucho control. El dispositivo a analizarse en este estudio se ubica dentro de esta categoría, es decir, es de desinfección preventiva.

1.2.2 Desinfección correctiva

Es aplicar desinfección al agua cuando se ha detectado algún organismo patógeno en ella y por ende ya ha empezado a contaminar a algunas personas y lógicamente conlleva la restitución de la salud de dichas personas, por lo que su costo es mayor que la práctica anterior ya que al mismo hay que agregarle los valores de las curaciones cuando aun son posibles y a esto también el costo social.

Dentro de las ventajas de aplicar desinfección preventiva respecto de desinfección correctiva tenemos que la primera es más rápida ya que se han estudiado las características tanto físicas como químicas del agua y en la segunda hay que realizar estas pruebas que en la mayoría de los casos el laboratorio queda distante y hay que esperar un período de incubación; otra ventaja de la desinfección preventiva es que se ha llevado un control de estas aguas y ya se conocen sus características lo que hace posible la fácil identificación de los posibles orígenes de la contaminación; esto lógicamente significa como lo mencionamos anteriormente una diferencia en el costo lo que hace que la desinfección preventiva sea siempre más económica.

1.2.3 Elementos y compuestos químicos para desinfección

La desinfección por exposición, durante un lapso suficiente, del agua a productos químicos, en condiciones adecuadas, es un método bastante utilizado mediante productos químicos oxidantes y comprende:

- 1) Los halógenos, cloro, bromo y yodo desprendidos de fuentes aceptables en forma adecuada;
- 2) El ozono;
- 3) Otros oxidantes como el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno.
- 4) Alcalis y ácidos y productos químicos tenso activos.

1.2.4 Instrumentos y equipos

Dependiendo del medio de desinfección a utilizar existe una gran diversidad de instrumentos y equipos tanto para la desinfección como para el control de esta, en nuestro caso trataremos únicamente los que relacionan con la cloración, equipos que para alimentar cloro al agua pueden ser clasificados de diversos modos: según el método de control que se utilice se dividen en manual, programado y automático, y según su forma de alimentación pueden ser de alimentación directa y alimentación por soluciones que a su vez se divide en alimentación a presión y alimentación del tipo de vacío.

Para comprobar los resultados obtenidos en nuestro caso utilizaremos un comparímetro comercial, que es de los instrumentos más elementales para medir el cloro residual, este consiste en un kit que incluye su reactivo y el aparato en si contiene un recipiente en donde se coloca el agua a analizar, luego se aplican 5 gotas de reactivo al agua la que cambia de color y se procede a comparar este color con la escala que trae el aparato, esto se debe hacer a trasluz , y se lee el valor correspondiente al color comparado. El kit por nosotros utilizado tiene también capacidad de medir la acidez (PH). (Ver esquema del comparímetro en apéndice, figura 1).

2. PROPIEDADES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO PARA DESINFECCIÓN DE AGUA

2.1 El cloro

El cloro elemental fué descubierto por el Boticario y Químico sueco Karl Wilhem Scheele (1,742 - 1,786).

El hipoclorito de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o $4\text{H}_2\text{O}$, es también conocido por HTH, Perchloron, es corrosivo y de fuerte olor y debe contener 70% de Cl_2 disponible.

El hipoclorito de sodio es generado a partir de una solución salina (sal y agua) mediante un aparato generador de hipoclorito de sodio, el que requiere energía eléctrica y ventilación adecuada.

El propósito principal de agregar cloro al agua es destruir las bacterias y microorganismos patógenos que puedan estar presentes y se ha demostrado que si se agrega cloro en cantidades suficientes al agua este actúa como un desinfectante muy activo.

La utilización del cloro aplicado directamente a la desinfección del agua se debe a William M. Jewel, quien, en enero de 1,896, uso gas de cloro producido electrolíticamente en pequeñas pilas, en Lousville, Kentucky, USA. La cloración del agua, como parte continúa de un tratamiento de agua, se utilizó por primera vez en Niddlekerke, Bélgica, donde se originó el proceso denominado "Ferro-chlor" de Maurice Duyk, en 1,902.

2.1.1 Propiedades físicas y químicas del cloro

El cloro es uno de los elementos químicos más activos y al adicionarse al agua, como cloro activo libre, produce varias reacciones químicas:

- a) La combinación directa del cloro con las materias orgánicas e inorgánicas
- b) La oxidación de los compuestos orgánicos e inorgánicos
- c) La coagulación o precipitación, o cambio en el estado físico, de los compuestos orgánicos.

El cloro líquido y gaseoso no son explosivos, ambos reaccionan químicamente con varias sustancias. El cloro solo es soluble en agua. El cloro gaseoso es de color amarillo verdoso y tiene un olor característico y es 2.5 veces más pesado que el aire por lo que si se escapa del cilindro tiende a bajar. El cloro líquido, que no debe confundirse con la solución de cloro gas y agua, es de color ámbar claro y es 1.5 veces más pesado que el agua y si se vaporiza un volumen de cloro líquido viene a ser cerca de 460 volúmenes de gas. El cloro seco no reacciona con muchos metales es muy reactivo al contacto con el agua por ser altamente oxidante.

El cloro elemental constituye el segundo miembro de la tabla periódica. En su capa externa posee 7 electrones rodeando su núcleo, lo que le da una gran estabilidad pues los átomos tienen una fuerte tendencia a adquirir un electrón extra para completar una capa de 8, esta tendencia se manifiesta a si misma como una tendencia oxidante. Por consiguiente el cloro elemental es un poderoso agente oxidante y funciona como tal en la mayor parte de reacciones químicas.

2.1.2 Ventajas y desventajas del hipoclorito de calcio

Entre las ventajas del hipoclorito de calcio, dosificado convenientemente, podemos mencionar que tiene la capacidad de destruir, en género y número, los organismos patógenos que puedan existir en el agua; actúa en un período relativamente corto; no da al agua características tóxicas ni coloración; es, en el caso de cloro en polvo, de simple operación, bajo costo y fácil de obtener. Comparado con el hipoclorito, de sodio que necesita un aparato generador de este a partir de sal, lo que requiere energía eléctrica y mucha ventilación y cuidado ya que este proceso genera gas hidrógeno que es explosivo, resulta más económico y fácil de obtener aun en los casos de lejía comercial o domestica (polvo blanqueador) que es muy inestable por lo se recomienda tomar precauciones.

Dentro de las desventajas del cloro podemos mencionar, que es de manejo delicado ya que principalmente el cloro gaseoso es venenoso, es muy volátil por lo que su manejo debe ser en recipientes debidamente sellados, debe almacenarse protegido de la luz solar, debe dosificarse muy bien ya que en cantidades pequeñas no actúa y en grandes cantidades es tóxico y su eficacia se ve afectada por la acidez del agua (PH), el calor y la presencia de bacterias. Para nuestro caso del cloro en polvo es recomendable no inhalar los gases, hay que protegerse los ojos, la piel y utilizar ropa apropiada y en caso de contacto debe lavarse con abundante agua por 5 minutos como mínimo.

2.1.3 Presentaciones

El cloro se presenta en tres estado: sólido, líquido y gaseoso, en nuestro caso utilizaremos el cloro en estado sólido. En los primeros dos estados se

almacena en cilindros de acero y en estado sólido se obtiene como polvo, gránulos y comprimidos (pastillas) almacenado en barriles de 115 lbs; latas de 5, 15, 100 y 300 lbs. y tambores de 800 lbs. Y en concentraciones que van de 35 a 70% para hipoclorito de calcio, 33 a 37% para polvo blanqueador y de 0.5 a 15% para hipoclorito de sodio En nuestro medio el cloro en polvo se encuentra disponible también en botes plásticos de 1 lb. El manejo de este producto, por su corrosividad, debe ser en recipientes de cerámica, vidrio, plásticos y tanques forrados de hule.

3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO POR EL DOSIFICADOR DE CLORO

Como se mencionó anteriormente la dosificación del cloro es muy importante y para lograrlo existen varios métodos que varían según el volumen de agua a tratar, es así que para volúmenes grandes se utiliza el cloro gas, y en volúmenes menores cloro líquido o cloro en polvo para volúmenes pequeños.

3.1 Dosificadores de hipoclorito de calcio

En nuestro medio el método más utilizado es el de dosificar cloro en polvo al agua mediante un hipoclorador que consiste en construir un depósito de concreto de 1 metro cúbico de capacidad, sobre el tanque de distribución del sistema, en donde se coloca una mezcla de agua y cloro en polvo convenientemente dosificado y mezclado y de ahí por goteo y gravedad se dosifica al agua del tanque de distribución.

Otro método consiste en dosificar cloro al agua mediante clorinadores comerciales que funcionan de acuerdo al flujo del agua y de éstos el más conocido es el que utiliza pastillas de disolución lenta y dosifica automáticamente el cloro y ha sido utilizado por el programa INFOM-UNEPAR-BID

Y otro método es el del dispersor de cloro artesanal que ha sido utilizado en regiones vecinas a la república de El Salvador para pozos excavados a

mano de donde han importado esta práctica a regiones vecinas de nuestro país y su uso ha sido practicado por técnicos de salud sólo como pruebas.

Según se investigó, en muy pocos casos o en ninguno se le ha dado seguimiento a estos sistemas de cloración, es decir, sólo se entrega el equipo con el sistema y será responsabilidad de la comunidad su operación y mantenimiento, situación que debería mejorarse.

3.1.1 Descripción

En los casos del cloro en polvo la metodología de la dosificación del cloro ocurre mezclándolo al agua y aplicándolo ya sea por goteo o por dispersión. Generalmente este tipo de dosificación de cloro se utiliza para sistemas que se abastecen de nacimientos de agua y lugares donde no se cuenta con energía eléctrica y en el caso del dosificador automático de cloro que utiliza tabletas es para hasta 400 casas durante un período de dos semanas y puede utilizarse también en sistemas por bombeo.

3.1.2 Funcionamiento

En el caso del hipoclorador por goteo su funcionamiento consiste en que se prepara una mezcla (salmuera) de agua y cloro en polvo y esta se aplica al agua del sistema por goteo y gravedad.

El dispersor de cloro artesanal, una vez cargado, se sumerge entre el tanque de agua y de ahí el cloro se va diluyendo entre el agua hasta que el cloro se consume.

3.1.3 Ventajas y desventajas técnicas

Debido a que los dispersores de cloro son de dosificación permanente necesitan que el flujo de agua sea constante, es decir dosifican siempre cloro al agua aun que no exista consumo, situación que difícilmente se da ya que incluso los nacimientos de agua varían su caudal en época de lluvia y época seca lo que hace obligatorio el control de cloro residual ya que constantemente deben ser ajustados al caudal. Esta cloración constante hace que el consumo de cloro sea mayor que el necesario.

Estos cloradores no utilizan caseta de protección de los rayos solares ya por su forma o manera de instalarse siempre quedan protegidos de éstos.

En el caso de los hipocloradores su operación requiere un período de espera y su recarga es para un período de tiempo muy corto lo que hace que esta sencilla operación sea un poco engorrosa lo que hace que con el tiempo se abandone la práctica de clorar el agua.

En todos los casos de cloro en polvo o en tabletas el manejo del producto es muy importante ya que la exposición del cloro al aire, por su volatilidad, hace que este se escape y pierda su fuerza, incluso las tabletas con el tiempo se destruyen lo que dificulta su manejo

4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

4.1 Descripción

El dispersador de cloro artesanal se colocará en el tanque de distribución de 12 metros cúbicos de la finca El Guayabo y las pruebas de cloro residual se efectuarán en el casco de la finca que se abastece desde el tanque de distribución por medio de una tubería de PVC de 3/4", tubería a la que se le colocó una válvula de globo y se graduó el caudal para los 30 habitantes a los que abastece esa tubería; dicha graduación se calculó así:

$$q = 1.5 * \frac{30 \text{ HABITANTES} * 100 \text{ LITROS/HABITANTE/DIA}}{86,400 \text{ seg/día}} = 0.052 \text{ Lts/seg}$$

El caudal se graduó con la válvula de globo y comprobándolo por medio de aforos por el método volumétrico para un tiempo calculado así:

$$q = \text{Vol/tiempo} \quad \text{Despejando } t = \text{Vol}/q = 21 \text{ Lts.}/0.052 \text{ Lts./seg} = 404 \text{ seg}$$

El recipiente utilizado fue una cubeta plástica de 15 galones y el volumen se calculo cubicando las medidas del recipiente.

El ingreso del agua al tanque de distribución de la finca es por una tubería de PVC de 1" que al aforarla dio un caudal de de 0.06 Lts/seg, valor que es superior al caudal previamente fijado para la distribución (0.052 Lts./seg.)

por lo que quedó un pequeño rebalse en el tanque. Las pruebas de cloro residual se efectuaron en el chorro mas alejado del tanque de distribución, es decir, a una distancia de 200 metros de dicho tanque.

4.2 Construcción del modelo

Para la construcción del modelo a utilizar en esta prueba necesitamos los siguientes materiales y accesorios:

1 botella de plástico de un litro de capacidad

(Envase comercial para agua pura)

3 metros de hilo para pescar para 15 Kg.

(Puede sustituirse por lazo plástico)

1 aguja hipodérmica número 16

½ libra de cloro en polvo al 65%

Grava fina de 1/4" y arena de río

(Ver figura 2 en apéndice)

Tómese la botella de plástico de un litro de capacidad, deposite en el fondo una capa de grava fina, luego una capa de arena de río, a nivel intermedio coloque ½ libra de cloro en polvo seguida de otra capa de arena de río y por último una capa de grava fina a la altura de los hombros del recipiente plástico, llénese el recipiente con el agua a tratar, tápese el recipiente y abra dos agujeros con la aguja hipodérmica, uno en el fondo del recipiente y el otro en la parte arriba del hombro del recipiente plástico. Se amarra con el hilo de pescar a la boca del recipiente plástico y se coloca a un metro de altura amarrándolo a la boca de entrada del tanque de distribución. (Ver figuras 3 y 4 en apéndice).

4.3 Limitaciones físicas y técnicas

Para la construcción del modelo no encontramos ninguna limitación física o técnica a excepción del hilo de pescar que no se vende por metro por lo que compramos un carrete del que sólo utilizamos una mínima parte y el resto, cuando se encuentre en operación el dispersor, se utilizará en futuras recargas, en el caso de la aguja hipodérmica no la venden sola por lo que se compró junto con la jeringa que no se usó, la grava y la arena de río se tomaron de la localidad ya que lo que se utiliza es una mínima parte y el cloro también se compró lo mínimo que venden que es una libra pero el sobrante de este material sí es de utilidad para las futuras recargas del modelo siempre y cuando se almacene adecuadamente (Cerrado y sin exposición a la luz).

5. PRUEBAS EFECTUADAS AL MODELO CONSTRUIDO

5.1 Descripción

En un inicio a falta de datos del dispersor de cloro artesanal trataremos de obtener una tasa de dispersión, es decir saber cual es la capacidad de dispersar cloro del modelo y en que tiempo lo realiza, para lo cual además de dos modelos de dispersor de cloro previamente contruidos y cargados con cloro utilizamos una cubeta plástica de 5 galones de capacidad, una cubeta plástica de 15 galones de capacidad, un kit para medir cloro residual por medio de comparaciones colorimétricas y su reactivo y 20 litros de agua sin clorar.

Para el cálculo de la tasa de dispersión se llenaron los modelos con agua sin clorar, se introdujeron dentro de las cubetas plásticas de 5 y 15 galones ubicándolo con su fondo a 1/3 de la altura de las cubetas y se cerraron con sus respectivas tapaderas. Luego cada media hora se tomó una lectura con un kit para medir cloro residual y su respectivo reactivo, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla III. Valores de cloro residual para los recipientes en función del tiempo

No.	MODELO	TIEMPO (MINUTOS)	COLORO RESIDUAL (ppm)
1	5 GALONES	30	3.00
2	15 GALONES	30	0.60
3	15 GALONES	60	1.00
4	15 GALONES	90	3.00

De acuerdo a los resultados anteriores vemos que en un inicio nuestros modelos funcionan como era de esperarse, sin embargo la tasa de dispersión aún no es posible obtenerla ya que debemos realizar pruebas en donde exista flujo de agua y así determinar en cuanto tiempo se consume el cloro en polvo. Sin embargo estas pruebas nos permiten determinar el tiempo inicial durante el cual el dispersor de cloro debe actuar para llegar a la concentración deseada, es decir, el tiempo durante el cual debe dejarse actuar al dispersor sin que el agua circule. Otra observación que se puede hacer es que el valor buscado también es función del volumen de agua.

5.2 Condiciones para la prueba

Las condiciones para la realización de la prueba son las de la finca cafetalera El Guayabo ubicada en la aldea los Pocitos de Santa Catarina Pinula y son: latitud 90°24'18", longitud 14°32'38, altitud 1,670 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio 20°C, humedad relativa 77%, 180 horas

/sol al mes, días de lluvia 114 días al año y evapotranspiración potencial 1600 mm.

5.3 Dimensionamiento en función del caudal a tratar

De acuerdo a información sobre el modelo tenemos que el dispersor puede tratar agua de pozos excavados a mano para 5 personas con una dotación de 100 litros/habitante/día. durante un un período de hasta por dos meses. Por otro lado tenemos que según fórmula la cantidad de gramos de cloro a utilizar está dada por:

$$HTH = \frac{PPM * V}{10 * \%}$$

En donde:

HTH= Gramos de cloro en polvo

PPM= Partes por millón

V=Volumen de agua a tratar expresado en litros

%=Porcentaje de concentración del cloro utilizado

Para nuestro caso tenemos: 230 gramos (½ libra) de cloro en polvo al 65% y se desea dosificar 2 partes por millón, es decir 1.5 mg/litro

Despejando la fórmula para obtener el volumen de agua a tratar, tenemos:

$$V = \frac{HTH * 10 * \%}{PPM} = \frac{230 * 10 * 65}{2} = 74750 \text{ litros}$$

Este valor obtenido dividido entre 60 que es el número de días que se estima tardará el cloro en dispersarse nos da 1246 litros por día y si dividimos por la dotación que corresponde a 100 litros/habitante/día obtenemos el número

máximo de personas a las cuales se dotaría de agua dosificada con cloro a 2 PPM y que corresponde a 12 personas, valor superior al reportado previamente debido a que en el pozo no es posible medir en caudal y el último resultado es teórico.

5.4 Pruebas efectuadas

Una vez colocado en el tanque de distribución de la finca de 12,000 litros de capacidad y que abastece a 30 personas y con el modelo debidamente colocado se procede a efectuar lecturas de cloro residual en el chorro mas alejado del tanque de distribución de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla IV. Resultados de cloro residual obtenidos durante varios días

No.	TIEMPO (DÍAS)	COLORO RESIDUAL (ppm)
1	1 DÍA	1.5
2	2 DÍAS	1.5
3	3 DÍAS	1.5
4	4 DÍAS	1.5
5	5 DÍAS	1.5
6	6 DÍAS	1.5
7	7 DÍAS	1.5
8	8 DÍAS	1.5
9	9 DÍAS	1.5
10	10 DÍAS	1.5

Continuación

No.	TIEMPO (DÍAS)	COLORO RESIDUAL (ppm)
11	11 DÍAS	1.5
12	12 DÍAS	1.5
13	13 DÍAS	1.5
14	14 DÍAS	1.5
15	15 DÍAS	1.5
16	16 DÍAS	1.5
17	17 DÍAS	1.5
18	18 DÍAS	1.5
19	19 DÍAS	1.5
20	20 DÍAS	1.5
21	21 DÍAS	1.0

Como se observa para 30 personas el cloro residual se mantuvo durante 20 días en el valor de 1.5 partes por millón y luego bajo por lo que se suspendió la prueba ya que se había logrado mantener el valor previamente fijado, valor que se obtuvo a las 2 horas y 15 minutos de haberse iniciado la prueba, tiempo después del cual se puso en funcionamiento la red de distribución con el caudal calculado (0.052 Lts./seg.) mediante la apertura de la válvula de globo. El valor de concentración de 1.5 PPM se fijó por ser un valor dado en la escala del comparímetro y mas alto que el exigido por COGUANOR pensando en que el agua puede estar contaminada, extremo que no se comprobó ya que sale del alcance de este estudio, lo que puede significar mas consumo de cloro que el normal.

6. COSTOS DEL DISPERSOR DE CLORO DE RECIPIENTE SUMERGIDO

6.1 Costo de construcción

El costo de construcción del modelo del dispersor de cloro artesanal construido es el que se describe a continuación:

Tabla V. Costo de construcción del dispersor de cloro artesanal

No.	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	BOTELLA PLÁSTICA DE 1 LITRO DE CAPACIDAD	Q.4.50
2	½ LIBRA DE CLORO	Q.7.50
3	3 METROS DE HILO DE PESCAR PARA 15 Kg.	Q.0.54
4	AGUJA HIPODÉRMICA NUMERO 16	Q.2.00
5	AGREGADOS PÉTREOS	Q.1.25
	T O T A L	Q.15.79

6.2 Costo de instalación

Para la instalación del modelo el único costo de instalación que se toma en cuenta es el del hilo de pescar y si la longitud del carrete es de 100 metros a

un costo de Q.18.00 y lo que se utiliza es de 3 metros nos da un costo de instalación de Q.0.54 por dispersor.

6.3 Costo de operación

El costo de operación es el costo del cloro en polvo a utilizar en cada recarga del dispersor de cloro artesanal y tomando en cuenta que cada recarga consume $\frac{1}{2}$ libra de cloro y cuyo costo asciende a Q.7.50, los materiales pétreos cuyo costo es de Q.1.25 y el hilo de pescar que cuesta Q.0.54 . A este costo hay que agregar la mano de obra por operación del dispersor y que calculamos en Q.4.00 basados en que el tiempo de operación es de 1 hora y que el salario de un operario en esta localidad es de Q.32.00 /día, Cantidad que sumada a los costos anteriores nos da Q.13.29. Que dividido entre 30 personas nos da Q.0.44 por persona durante 20 días.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se describió anteriormente el valor fijado para la concentración se mantuvo durante veinte días para 30 personas con lo que se logró demostrar que para condiciones similares a las de la prueba el dispersor de cloro de recipiente sumergido puede funcionar.

7.1 Eficiencia

Definitivamente el dispositivo ha mostrado eficiencia ya que durante la prueba efectuada demostró que logra el efecto previamente determinado.

7.2 Eficacia

Esta característica también fue demostrada ya que mostró poder para cumplir con su cometido.

7.3 Regularidad

Durante la prueba se demostró que mantuvo el valor de 1.5 partes por millón durante veinte días por lo que durante ese tiempo su funcionamiento fue con regularidad.

7.4 Aplicabilidad

Se demostró mediante la prueba que su aplicabilidad para situaciones similares a la estudiada fue satisfactoria.

7.5 Confiabilidad

Durante la prueba el dispersor de cloro mostró confiabilidad ya que disperso el cloro de manera uniforme durante el tiempo que mantuvo la concentración de cloro previamente fijada.

CONCLUSIONES

1. Para condiciones similares a la estudiada, el dispersor funciona adecuadamente, sin embargo, deberá de seguirse estudiando ya que la concentración de cloro depende también del clima, de la bacterias presentes en el agua y otros factores que salen del campo de este estudio.
2. Este tipo de dispersores de cloro artesanal podrían utilizarse en miniacueductos si se incrementara el número de habitantes y lógicamente se reduciría el tiempo de acción. O si se colocaran mas dispersores o se incrementara el volumen de cloro, extremos que deberían estudiarse para su posible aplicabilidad.
3. Se demostró que el dispersor puede funcionar, pero será necesario que se estudie principalmente por alumnos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS quienes están facultados para hacer todas las pruebas necesarias ya que este estudio sólo versó sobre la forma en que dispersa el cloro al agua, lo que dio un resultado satisfactorio.
4. Los costos del dispersor de cloro artesanal fueron bastante bajos y su construcción y funcionamiento fueron de mucha facilidad, aún que no se comprobó hasta cuanto tiempo dura el dispositivo en si, es decir cual es su vida útil, sin embargo la Sociedad de Inspectores de Saneamiento de El Salvador dicen que un modelo de estos puede durar un mínimo de dos

años pero requiere bastante inspección ya que puede presentar taponamientos, lo que es lógico ya que ellos lo utilizaron en pozos excavados a mano y estos arrastran muchos sedimentos.

5. La tasa de dispersión buscada en un inicio no fué posible calcularla, lo que se puede afirmar, es que, para condiciones similares a la estudiada el dispersor de cloro artesanal mantuvo una concentración de cloro de 1.5 PPM durante 20 días, con un tanque de almacenamiento de 12 metros cúbicos y para 30 personas.

RECOMENDACIONES

1. Antes de tomar una decisión de instalar un dispersor de cloro deberá tenerse claro para que lo queremos.
2. Una vez instalado el dispersor de cloro se debe velar por que opere continuamente y con la dosis adecuada.
3. Debe realizarse periódicamente determinaciones del cloro residual y mantener registros de los resultados.
4. Debe tenerse cuidado al manejar el cloro ya que es corrosivo y emana gases tóxicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. QUIROS ALVAREZ, Marco José Ricardo. Cloración del Agua. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria a Nivel de Post Grado. Guatemala, noviembre de 1,978.
2. FAIR, GEYER, OKUN. **Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales**. Tomo II. México, 1,979.
3. COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS - COGUANOR - MINISTERIO DE ECONOMÍA, GUATEMALA, C.A. Norma COGUANOR NGO 29 001. Guatemala. Publicada en el Diario Oficial el 18 de octubre de 1,985.

ANEXOS

- **Dosificación de cloro líquido para tratamiento doméstico de desinfección del agua.**

Cuando la cantidad de agua a desinfectar es pequeña es posible hacerlo de las siguientes maneras:

- a) Con cloro en polvo; se prepara una solución de cloro, hipoclorito cálcico al 70%, mezclando una cucharadita cafetera de cloro al ras en una botella vacía de cerveza con un tapón de hule o de corcho, luego llénese de agua y agítese durante 3 minutos y luego deje reposar la solución durante una hora. De esta solución, sin agitarla, se toma una cucharada sopera y se coloca en un garrafón o tinaja, de 20 litros de capacidad, se llena con agua de consumo y luego se utiliza después de $\frac{1}{2}$ hora. Dependiendo de la concentración de cloro el número de cucharitas a colocarse en la botella de cerveza vacía es: 3 cucharitas para cloro al 25%, 2 $\frac{1}{2}$ cucharitas para cloro al 30%, 2 cucharitas para cloro al 35%, 1 $\frac{1}{2}$ cucharitas para cloro al 40% y 1 cucharita para cloro al 70%.
- b) Utilizando pastillas; para tratar pequeñas cantidades de agua con pastillas de halazone o equivalente se hará como se describe a continuación:
 - 1) Tómese el número de pastillas indicadas en la tabla que se presenta más adelante y colóquese dentro del depósito con agua.
 - 2) Agítese el agua con las pastillas hasta que esta se deshagan.

- 3) Déjese reposar el agua durante 30 minutos antes de consumirla.

Tabla VI. Dosificación de pastillas de cloro para diferentes recipientes

DEPOSITO (GALÓN)	NUMERO DE PASTILLAS	
	AGUA LIMPIA	AGUA TURBIA
BOTELLA (1/5 GALÓN)	2	4
CANTIMPLORA (1/4 GALÓN)	2	4
½ GALÓN	4	8
1 GALÓN	8	16
TINAJA O CUBETA (5 GALONES)	40	80

- Aplicación de otros métodos de tratamiento doméstico para desinfección del agua

Dentro de los medios físicos de desinfección tenemos la técnica de aplicar calor al agua hasta llegar a la ebullición que se mantiene durante 15 a 20 minutos para la eliminación de algunas bacterias, las bacterias esporuladas necesitan mas tiempo pero estas generalmente no constituyen problema sanitario. Este método es de alta eficiencia, es controlado por el tiempo y no es influenciado por la presencia de sólidos en suspensión, turbidez, materias orgánicas, etc. Elimina del agua los gases disueltos por lo que se hace necesaria un aireación posterior, tiempo durante el cual puede haber una contaminación ya que este método no tiene efecto residual, es para

pequeñas cantidades de agua y su uso es generalmente para casos de emergencia.

El tratamiento con permanganato de potasio (KmnO_4) es de acción inmediata pero se agota rápidamente. Realmente es mas adecuado a las acciones de oxidación que a una desinfección simple y su aplicación es para casos aislados y casos de emergencia. Consiste en aplicar una cucharada sopera en un garrafón de 20 litros, llenar en garrafón con agua, dejar reposar media hora, echar gotas de limón agitando el agua hasta que el color rosado de esta desaparece y estará lista para su consumo. Igualmente existe desinfección con agua oxigenada, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) estos método no dan sabor al agua mas bien eliminan los que pueda tener.

Los halógenos como el flúor, el cromo, el bromo y yodo tienen una acentuada acción desinfectante en su estado elemental, de estos el mas utilizado es el yodo y la práctica consiste en aplicar 20 gotas de tintura de yodo en un garrafón de 20 litros, llenar el garrafón con el agua a tratar, dejar reposar una hora, echar 20 gotas de líquido neutralizador, dejar reposar una hora y luego el agua esta lista para su consumo. De nuevo estos métodos son mas adecuados para casos de emergencia.

APÉNDICE

Figura 1 Kit para medir cloro.

Figura 2 Materiales y accesorios del dispersor.

Figura 3 Modelo del dispersor de cloro artesanal.

Figura 4 Colocación del dispersor en el tanque.

Figura 5 Modelos construídos de dispersores de cloro artesanal.

Figura 6 Certificado de calidad de cloro utilizado para las pruebas.

Figura 1 Kit para medir cloro

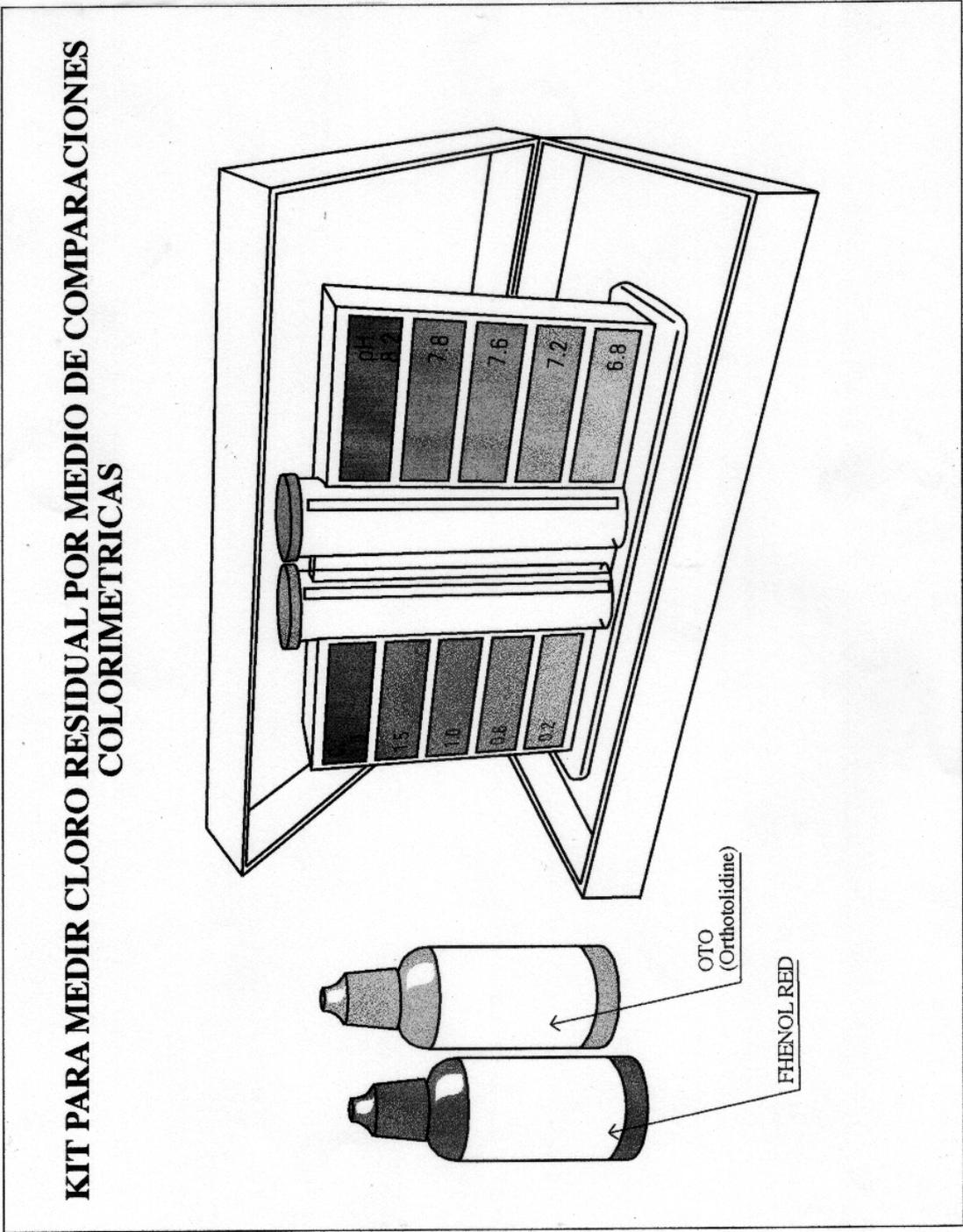


Figura 2 Materiales y accesorios del dispersor.

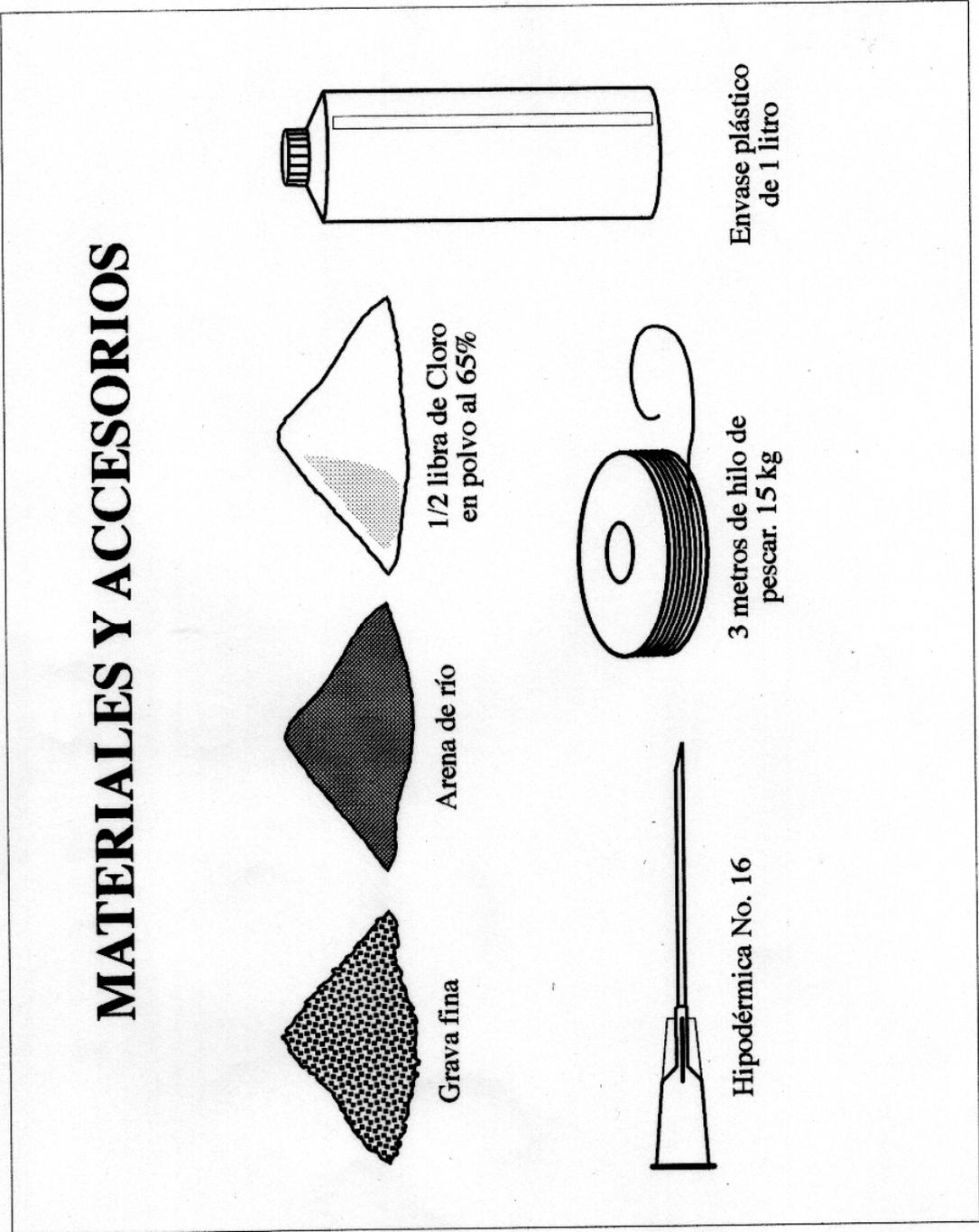


Figura 3 Modelo del dispersor de cloro artesanal

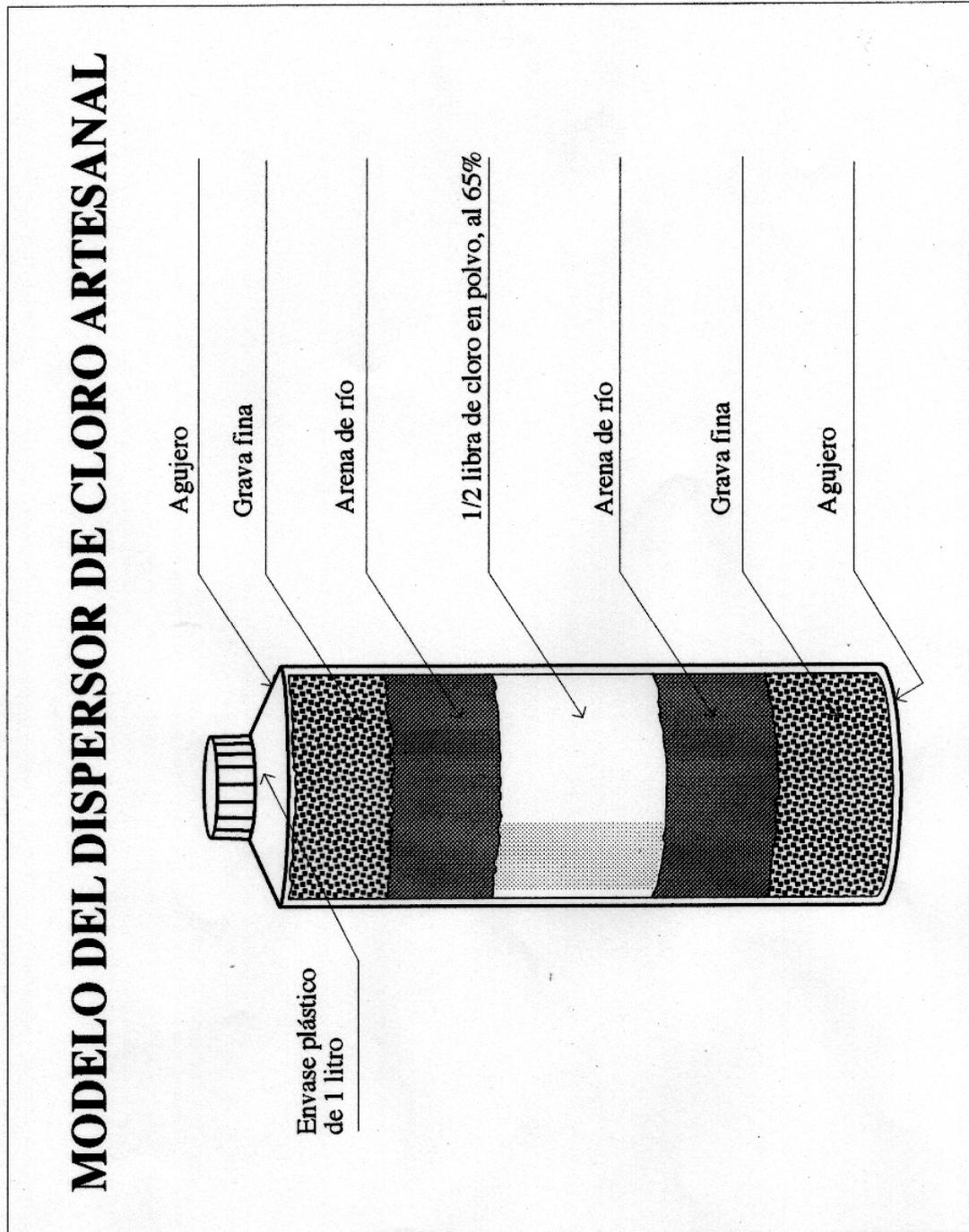


Figura 4 Colocación del dispersor en el tanque

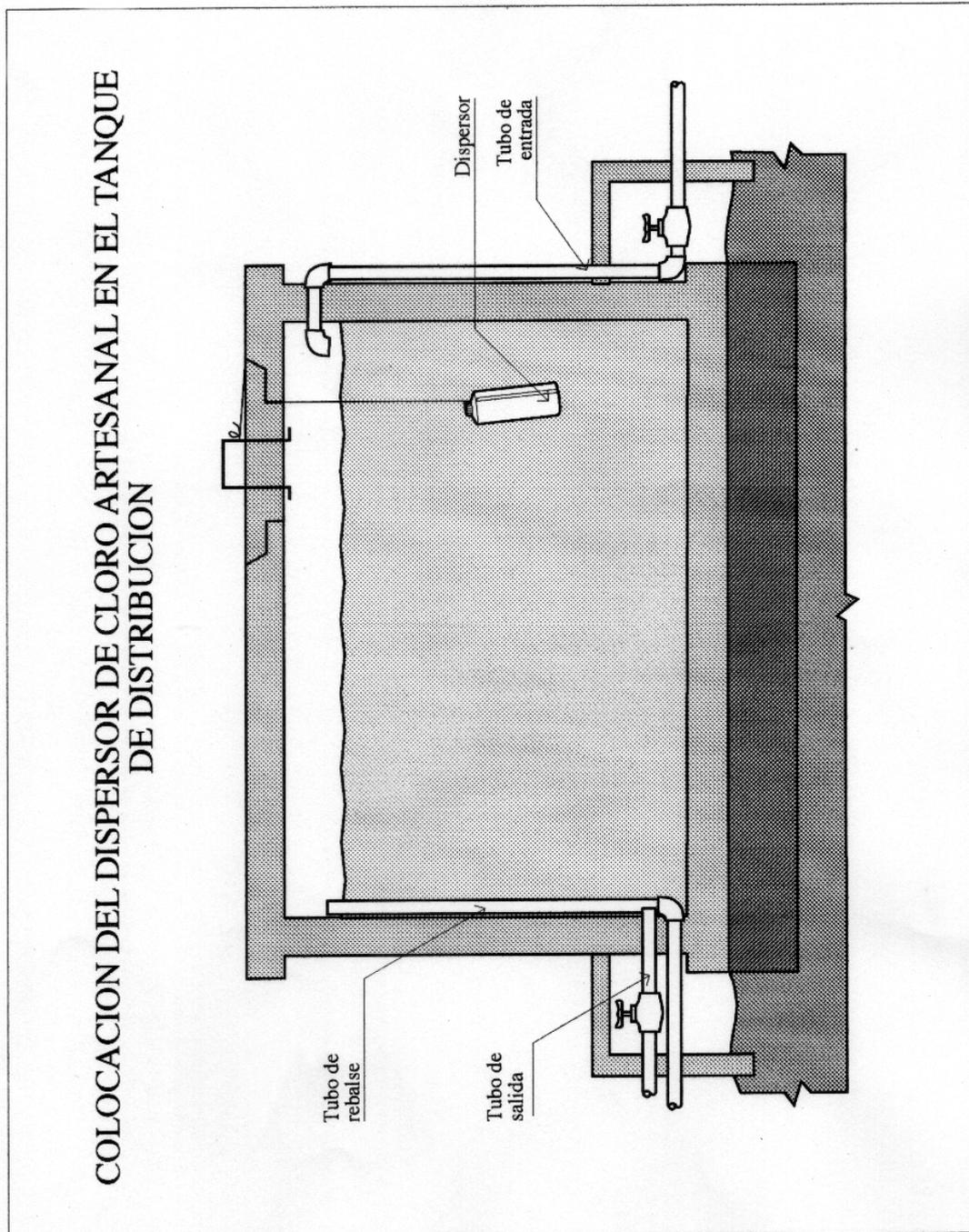
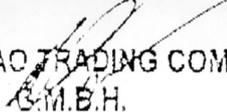


Figura 5 Modelos construídos de dispersores de cloro artesanal.



Figura 6 Certificado de calidad de cloro utilizado para las pruebas.

	12 Avenida 37-37, Zona 11 Colonia Las Charcas Tels.: 476 4502 • 476 4503 • 476 4488 • 476 4490 Fax: 476 4497 Guatemala, Ciudad	
CERTIFICATE OF ANALYSIS		
PRODUCT:	CALCIUM HYPOCHLORITE 65% MIN. - GRANULAR	
QUANTITY:	21.870,- KGS. NET	
<u>AVAILABLE CHLORINE</u>	<u>SODIUM CHLORIDE</u>	<u>INSOLUBLES</u>
>65%	<18%	<5%
DATAS AS RECEIVED FROM SUPPLIER.		
Hamburg, 30 de Abril de 2003		
 CUFACAO TRADING COMPANY S.M.B.H.		