

Evaluación de equipo ozonizador doméstico para tratamiento de agua

Eliet Véliz Lorenzo, Lidia Asela Fernández, Mayra Bataller Venta, Adolfo Amador Fernández, Cesar Mora Ivonnet, Carlos Pérez Gómez, Caridad Álvarez Álvarez y Elaine Sánchez Urrutia.

Centro de Investigaciones del Ozono, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 15 y calle 230, No. 1313, Siboney, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 23 de septiembre de 2003. Aceptado: 1ro de junio de 2005.

Palabras clave: ozono, ozonizador doméstico, tratamiento de agua, desinfección.

Key words: ozone, domestic ozonator, water treatment, disinfection.

RESUMEN. Los ozonizadores domésticos son equipos de reducido tamaño que pueden ser utilizados para obtener pequeños volúmenes de agua potable de elevada calidad, lo que permite obviar la necesidad de hervir el agua o consumir agua embotellada. En el Centro de Investigaciones del Ozono de Cuba, se diseñó, construyó y evaluó una línea de ozonizadores domésticos que permiten dar una solución local al tratamiento del agua que se va a consumir. En este trabajo, se realizó la evaluación de los principales parámetros que caracterizan el funcionamiento de estos equipos, durante dos etapas de estudio (invierno y verano), para considerar las variaciones de temperatura y humedad propios del clima tropical de Cuba. Esta evaluación incluyó el control de sus condiciones de operación: presión de agua de trabajo, flujos de agua y de gas, tiempo óptimo de funcionamiento continuo y concentraciones de ozono en el gas y en el líquido como parámetros fundamentales, así como la calidad microbiológica del agua obtenida, lo que permitió recomendar las mejores condiciones de operación de estos equipos, que resultaron: presión óptima de agua de entrada al equipo: 1 kg/cm², flujos de agua: 1 L/min, concentraciones de ozono disueltas en el agua: superior a 0,3 mg/L, tiempo óptimo de funcionamiento continuo: 10 min. Bajo estas condiciones se puede obtener un volumen de 10 L de agua ozonizada, antes de volver a conectar equipo es menester darle 15 min de reposo. En estas condiciones el equipo fue capaz de eliminar totalmente del agua elevadas concentraciones de varios tipos de microorganismos. Este estudio permitió que este equipo obtuviera el registro sanitario que expiden las instituciones reguladoras del ministerio de Salud Pública de Cuba.

ABSTRACT. The domestic ozonizers are equipments of reduced size that can be used to obtain small volumes of microbiological high quality drinking water. With the use of this ozonizers it is not necessary to boil water or to consume bottled water. In the Ozone Research Center of Cuba, a line of domestic ozonizers that gives a local solution for drinking water treatment was designed, built and evaluated. The current work deals with the evaluation of the main parameters that characterize the performance of these equipments. They were evaluated in winter and summer, to consider the temperature and humidity variations of Cuban tropical climate. This evaluation included the control of their operation conditions: water pressure, water and gas flows, continuous operation time and gas and liquid ozone concentration as mean parameters. Finally microbiological tests for water quality were carried out. The best operation conditions were: inlet water pressure in the equipment: 1 kg/cm², water flow: 1 L/min, ozone concentration in water: higher than 0.3 mg/L, time of the continuous operation: 10 min, time before the equipment can be turned on again: 15 min. The equipment under these conditions was capable of eliminating high concentrations of different kinds of microorganisms in the water.

INTRODUCCION

Actualmente, gran parte del agua de abasto que se consume por la población es servida a través de acueductos, pero los sistemas de tratamiento y sobre todo las redes de distribución no siempre garantizan la óptima calidad del líquido (principalmente, microbiológica) y por tanto, una completa protección contra las enfermedades transmitidas por un agua insuficientemente tratada. Además, aunque reciba tratamiento, en muchos lugares antes de consumirla se almacena en cisternas o tanques elevados que pueden dar lugar a una posterior contaminación. Ante estas situaciones, el consumo de agua embotellada resulta la solución más generalizada.

Paralelamente y como parte de las soluciones para garantizar la calidad del agua potable, se han desarrollado pequeños equipos para su ozonización como una marcada tendencia mundial, ya que es muy conveniente disponer de un pequeño sistema de tratamiento de agua propio que garantice su desinfección antes de ser consumida.

Los ozonizadores domésticos son equipos pequeños y sencillos, que pueden ser utilizados para obtener agua potable de elevada calidad en los hogares, oficinas, escuelas, círculos infantiles, hospitales, hoteles, lugares apartados, etc., lo que permite eliminar la necesidad de hervir el agua o consumir agua embotellada.

Una gran ventaja del ozono en comparación con otros desinfectantes, se aprecia al analizar el concepto CT (especifica la concentración del desinfectante a utilizar y el tiempo de contacto efectivo para cada microorganismo), que evidencia que el ozono es mucho más efectivo, al necesitarse menores valores de CT. Por ejemplo, esta efectividad del ozono ha quedado demostrada para quistes de *Giardia Lamblia* (microorganismo muy resistente), ya que a la temperatura de 298 K solo se necesita un CT de $0,48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}$, mientras otros desinfectantes como el cloro, el dióxido de cloro y las cloraminas requieren CT de 61, 11 y $750 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}$ respectivamente, para un mismo porcentaje de inactivación.¹⁴

Al mismo tiempo, el ozono no presenta ninguno de los inconvenientes del cloro,⁵⁻⁹ y con un adecuado empleo de los equipos ozonizadores domésticos se puede obtener un agua completamente inocua y de gran calidad organoléptica, a partir de aguas provenientes de acueductos, o que hayan recibido algún pretratamiento y que pueden ser nuevamente contaminadas antes de llegar a su punto final de uso.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, en el Centro de Investigaciones del Ozono se diseñó y construyó una línea de ozonizadores pequeños y manuales, que permiten dar una solución local al tratamiento del agua que se va a consumir. Aunque en Cuba no existía hasta el momento otro equipo con uso y características similares al que se presenta, sí existe una gran variedad de estos equipos en el mercado internacional,¹⁰⁻¹³ aunque han sido diseñados para otras condiciones de operación muy diferentes a las del país, sobre todo, condiciones climáticas de temperatura y humedad atmosférica que afectan la producción de ozono, y para tratar aguas con otras características, por lo que no se han obte-

nido buenos resultados con su instalación en Cuba.

Por tanto, se decidió someter a los equipos diseñados a un riguroso estudio para obtener las condiciones óptimas de operación (presión de agua de trabajo, flujos de agua y gas, tiempo óptimo de funcionamiento continuo, concentración de ozono en el gas y en el líquido como parámetro fundamental), así como determinar la calidad microbiológica del agua obtenida.

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar y evaluar el equipo ozonizador doméstico y recomendar las mejores condiciones de operación.

MATERIALES Y METODOS

De un lote de 50 equipos, empleando el procedimiento para la selección de muestras aleatorias,¹⁴ se extrajo una secuencia de cinco números aleatorios para escoger los equipos a evaluar.

Considerando las variaciones de temperatura y humedad propios del clima tropical de Cuba, el análisis de la concentración de ozono en el líquido y en el gas, se realizó en dos períodos diferentes. El primero, de enero a febrero de 2002 en el que la temperatura promedio del agua era de 20°C y la estación era seca, y el segundo de junio-agosto de 2002 que correspondió a una

época lluviosa, con temperatura promedio en el agua de 30 a 31°C .

Como este segundo período corresponde a las condiciones de temperatura y humedad más desfavorables para la ozonización, se decidió realizar el estudio (en este período) para tres valores de presión de agua a la entrada de los equipos ($0,5$; $1,0$ y $1,5 \text{ kg/cm}^2$), ya que en la práctica, este es el parámetro fundamental a considerar para instalar un equipo. Durante el primer período las mediciones se realizaron para una presión de 1 kg/cm^2 .

Descripción del equipo ozonizador doméstico

La tecnología de tratamiento que utiliza el equipo (Figuras 1 y 2) consta fundamentalmente de:

Etapas de filtración. Para la filtración se coloca un filtro de carbón activado en la línea de entrada del agua al equipo, el cual se emplea para la eliminación del posible cloro residual que pudiera estar presente como consecuencia del tratamiento recibido en el sistema de acueducto.

Etapas de ozonización. La ozonización se realiza mediante un tubo generador de ozono con suficiente capacidad de generación, conectado a una tarjeta electrónica que emplea el método de alta frecuencia.



Características técnicas del ozonizador doméstico

- Alimentación: $110 \text{ V} \pm 10\%$, 50 a 60 Hz.
- Potencia de consumo: 10 VA (máximo).
- Flujo de agua recomendado: 1 L/min .
- Dimensiones: (270 X 150 X 195) mm.
- Peso neto: 1,67 kg.
- Peso bruto (embalado): 1,94 kg.

Fig. 2. Foto del ozonizador doméstico estudiado y sus características técnicas.

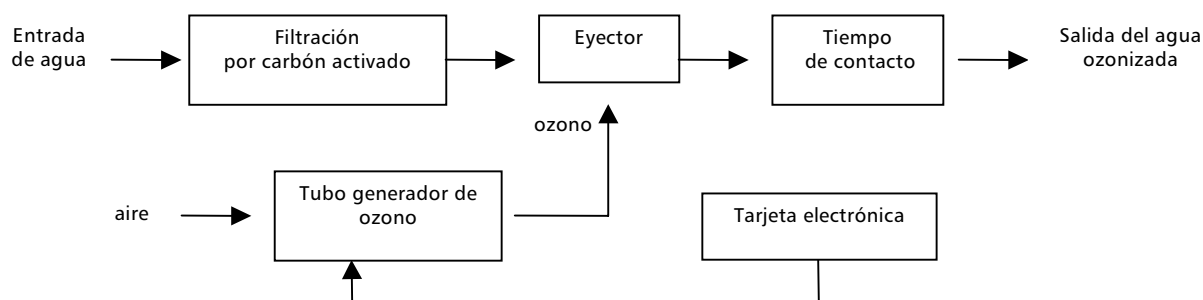


Fig. 1. Esquema general del equipo de ozonización doméstico.

Sistema de contacto gas líquido. El sistema está conformado por un eyector mediante el cual, se introduce el aire ozonizado en el flujo de agua, lo que garantiza una buena mezcla y una adecuada transferencia de ozono de la fase gaseosa a la líquida.¹⁵

Parámetros medidos

Presión de agua. La medición de la presión de agua se realizó mediante un manómetro colocado a la entrada de agua del equipo.

Flujo de líquido (Q_L). La medición del flujo de líquido se realizó en la salida de agua del equipo, midiendo el tiempo en que se llena una probeta de un litro de volumen y aplicando la expresión $Q_L = \text{Volumen/tiempo}$

Flujo de gas (Q_G). La medición del flujo de gas se realizó mediante un flujómetro de pompa de jabón. Se conectó la entrada del eyector a la salida del flujómetro y la entrada de este a la salida del tubo generador.

Concentración de ozono en el gas. Se midió con un espectrofotómetro marca Ultrospec III (Pharmacia), por medición directa del ozono a una longitud de onda de 256 nm, conectando la salida del tubo generador a la entrada de la cubeta de flujo de 1 mm y la salida de esta, a la entrada del eyector.

Concentración de ozono en el líquido. Se midió durante los 10 primeros minutos de ozonización en un espectrofotómetro marca Ultrospec III (Pharmacia), empleando el método del índigo trisulfonato de sodio.¹⁶

Constante de consumo de ozono en agua (k'). Se realizó para determinar la calidad del agua de suministro, de acuerdo con los consumos de ozono necesarios.¹⁷ El análisis esta-

dístico se realizó con el estadígrafo t de student.

Desinfección microbiológica

En este estudio, se realizaron varios retos microbiológicos, que consistieron en la inoculación en aguas de acueducto de cuatro cepas por separado: *Pseudomona aeruginosa* ATCC 27853, *Streptococcus fecalis* ATCC 10541, *Escherichia coli* ATCC 10536, *Salmonella typhimurium* (aislamiento clínico) y heterótrofos totales, para lo que se utilizó un tanque de 50 L como reservorio, ubicado aproximadamente a 10 m de altura para obtener suficiente presión de agua a la entrada del equipo. Los microorganismos se seleccionaron considerando la frecuencia con que aparecen en el agua y su resistencia a la inactivación con otros desinfectantes, sus concentraciones iniciales oscilaron entre $2,5 \cdot 10^3$ y $2 \cdot 10^4$ unidades formadoras de colonias/mL, siendo superiores a las que se pueden encontrar habitualmente en el agua potable. Los retos se realizaron en diferentes instituciones: Centro de Investigaciones del Ozono, Centro Nacional de Investigaciones Científicas (Departamento de Contaminación Ambiental) e Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.

Para la toma de muestras, en cada equipo, se consideraron los tiempos de contacto entre el ozono disuelto y el microorganismo presente en el agua (0 y 30 min). El primer tiempo correspondió al llenado completo del frasco de muestra de 500 mL y el segundo, cuando habían transcurrido 30 min de haberse llenado y tapado otro frasco de 500 mL. Se realizaron tres réplicas por punto.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la presión del agua de entrada en los equipos sobre el flujo de agua y de gas

Los flujos mínimo y máximo de líquido obtenidos a la salida de los equipos y los de gas succionados por el eyector, se muestran en la tabla 1, para las tres presiones de aguas estudiadas (las cuales fueron seleccionadas por ser frecuentes en los sistemas de acueductos de la ciudad).

El flujo de líquido obtenido en los cinco ozonizadores resultó muy similar y aumentó al incrementar la presión de agua a la entrada (Fig. 3). Los resultados evidencian que los equipos entregan un flujo adecuado de agua ozonizada para uso doméstico. En cuanto al flujo de gas, se observó que los ozonizadores tienen comportamientos similares, la

Tabla 1. Intervalos de flujo de líquidos y de gas, para las tres de presión de agua de entrada a los ozonizadores.

Presión de agua a la entrada (kg/cm ²)	Flujo	
	De líquido	De gas
	(L/min)	
0,5	0,73 - 0,75	0,18 - 0,30
1,0	0,94 - 1,07	0,27 - 0,60
1,5	1,30 - 1,63	0,50 - 0,80

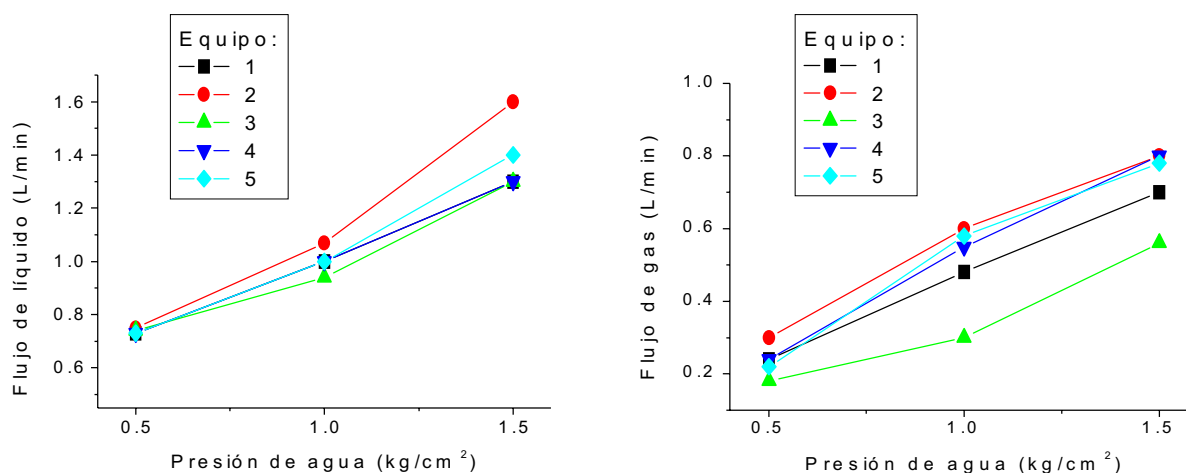


Fig. 3. Variación de los flujos de líquido y de gas según la presión de agua a la entrada.

desviación observada en el ozonizador 3 se pudo deber a ligeras diferencias en las dimensiones internas del tubo generador o en el eyector, lo que puede provocar que disminuya la succión de este último y por tanto, el flujo de gas succionado.

Análisis del efecto del aumento de la temperatura del agua sobre la concentración de ozono disuelto

Al analizar los resultados de la evaluación de estos equipos en diferentes épocas del año, se observó que las concentraciones de ozono en el gas y en el líquido varían de acuerdo con la estación en que se realizan las mediciones. Para determinar el efecto del aumento de la temperatura del agua sobre la concentración de ozono disuelto, se determinó el valor de la constante de consumo de ozono en el agua (k) a tres temperaturas, empleando una muestra de agua de la misma fuente de abasto, a pH constante e igual a 7 (Tabla 2).

Como se observa, al aumentar la temperatura del agua en 5 °C, la constante de consumo de ozono aumenta entre 1,6 y 1,7 veces. El análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre los valores de k obtenidos, lo que significa que en el intervalo de temperaturas en el que se ha evaluado el equipo, el aumento en la temperatura del agua de entrada influye negativamente en la cantidad de ozono que se disuelve.

Comportamiento durante la época de seca

Concentración de ozono en el gas y en el líquido

Se realizaron las mediciones de la concentración de ozono en el gas y el líquido y se graficaron los valo-

res promedio obtenidos para los cinco equipos en estudio. Las determinaciones se realizaron a presión de entrada de agua igual a 1 kg/cm², ya que es una presión a la que el sistema de contacto empleado funciona adecuadamente.

Se observó que la concentración máxima de ozono en el gas se obtiene durante el primer minuto de ozonización, después ocurre una disminución paulatina en ella durante el tiempo de ensayo (Fig. 4). Esto se debe a que el equipo no dispone de ningún sistema de enfriamiento del tubo generador, lo que provoca que el aire que circula por su interior se caliente progresivamente (debido al alto voltaje que es necesario aplicarle a este tubo, para la formación del ozono a partir del oxígeno del aire) y por tanto, disminuye la concentración de ozono en el transcurso del tiempo, por descomposición térmica del gas.

La mayor concentración de ozono en el líquido se obtiene también en el primer minuto de ozonización, ya que en este periodo es cuando tiene lugar una mayor formación de ozono en el gas, que es transferida al líquido por el eyector. La disminución observada en el tiempo es atenuada y permite que en todos los casos, el valor final sea superior a 0,2 mg/L, con lo que se cumple con la norma establecida por la International Bottled Water Association (IWBA) de mantener una concentración entre 0,2 a 0,4 mg/L de ozono en el líquido antes de envasarse.¹⁸⁻¹⁹

En todos los casos se obtuvo una incorporación del ozono al agua adecuada (Tabla 3). También se observó que el comportamiento de la muestra obtenida resultó muy similar, ya que estos coeficientes en todas las ocasiones oscilaron entre 5,7 y 6,3 como promedio.

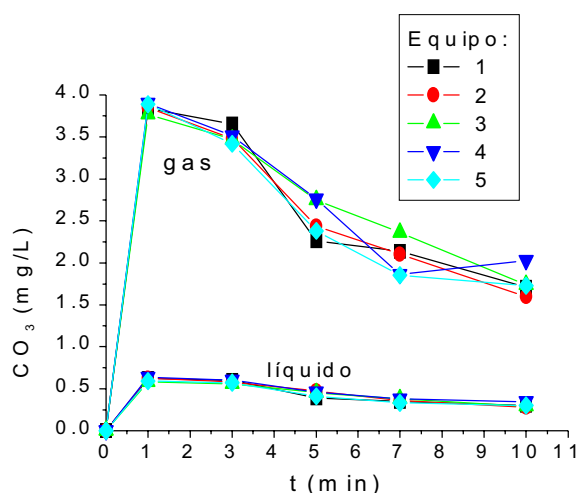


Fig. 4. Concentración de ozono en el gas y el líquido para los cinco ozonizadores. $T = 20^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6,9$.

Tabla 2. Constante de consumo de ozono disuelto (k) a diferentes temperaturas, $\text{pH} = 7$.

Parámetro estadístico	Temperatura del agua (°C)					
	20 a 25		25 a 30		20 a 30	
Media (k)	$9,19 \cdot 10^{-4}$	$14,15 \cdot 10^{-4}$	$14,15 \cdot 10^{-4}$	$23,73 \cdot 10^{-4}$	$9,19 \cdot 10^{-4}$	$23,73 \cdot 10^{-4}$
Varianza (S^2)	$8,95 \cdot 10^{-9}$	$1,41 \cdot 10^{-8}$	$1,41 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$	$8,95 \cdot 10^{-9}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$
Desviación estándar (S)	$9,46 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$9,46 \cdot 10^{-5}$	$2,74 \cdot 10^{-4}$
Error absoluto ($E\alpha$)	$9,93 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$2,53 \cdot 10^{-4}$	$9,93 \cdot 10^{-5}$	$2,53 \cdot 10^{-4}$
Error relativo (δ)	8,80 %	8,80 %	8,80 %	10,67 %	8,80 %	10,67 %
$F_{\text{calculada}}$	1,574		5,322		8,375	
F_{tabla}	5,050		4,950		4,950	
$t_{\text{calculada}}$	8,003		8,378		13,156	
t_{tabla}	2,228		2,469		2,462	
Diferencias significativas	sí		sí		sí	

$n = 11$, $p = 0,05$.

Tabla 3. Tasas de concentraciones de ozono en el líquido y el gas para presión de 1 kg/cm² y a 20 °C para los cinco equipos en estudio.

Tiempo (min)	Equipo				
	1	2	3	4	5
	CO_{3g}/CO_{3L}				
1	6,19	6,11	6,50	6,09	6,60
3	6,10	6,00	6,19	5,85	6,00
5	5,79	5,20	6,11	6,00	5,80
7	6,10	5,83	6,21	4,90	5,61
10	5,70	5,71	6,00	5,80	5,77

Comportamiento durante la época de lluvia

En esta parte del estudio, se impusieron tres presiones diferentes al agua de entrada del equipo, para evaluar la influencia de este parámetro sobre la concentración de ozono en el gas y el líquido.

Caracterización de la concentración de ozono en el gas

Se apreció que en el período de lluvia, de igual manera que el de

seca, los equipos estudiados alcanzan la mayor concentración de ozono en el gas en el primer minuto de ozonización, y se estabilizan posteriormente, pero con tendencia a disminuir constantemente en el tiempo (Fig. 5).

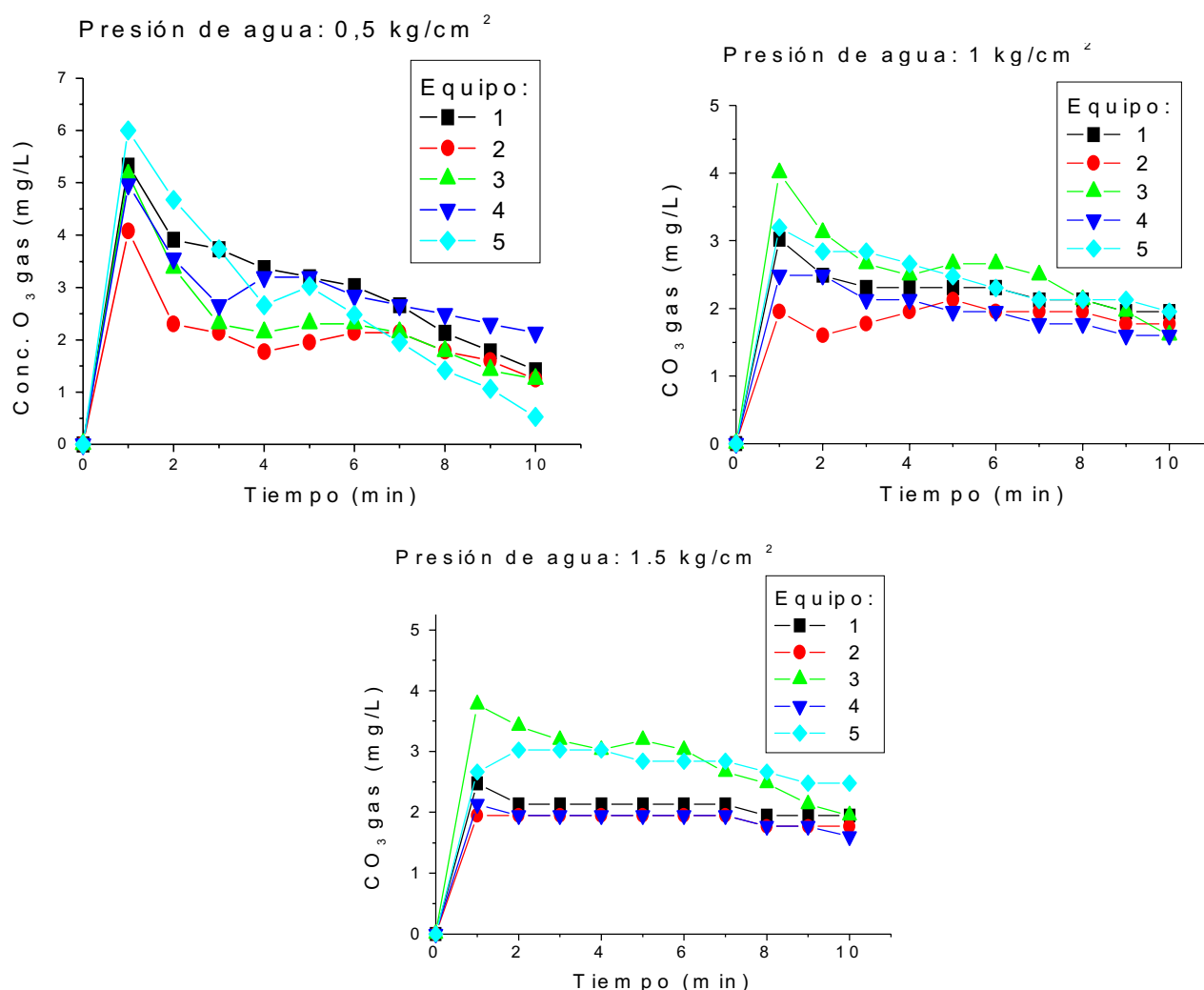
Se observó, que cuando los equipos trabajan a presiones de 0,5 kg/cm², se obtienen las mayores concentraciones de ozono en el gas durante el primer minuto. Esto se

debe a que el flujo de gas que succiona el eyector es menor y por lo tanto, el tiempo de residencia del aire dentro del tubo generador es mayor, lo que aumenta la concentración de ozono. Esta disminución del flujo de gas, al mismo tiempo, tiene un efecto negativo en la estabilización de la concentración de ozono en el gas en el tiempo, debido al calentamiento que experimenta la corriente gaseosa.

Caracterización de la concentración de ozono en el líquido

El comportamiento de la concentración de ozono en el líquido resultó similar al observado para el gas durante el tiempo en que transcurrió la experiencia (Fig. 6). Su disminución en el tiempo era de esperarse, ya que se disponía cada vez de menos cantidad de ozono en la fase gaseosa.

Es importante señalar que en general, los valores de tasas observados muestran una adecuada incorporación del ozono de la fase gaseosa a la líquida considerando que la tem-


Fig. 5. Variación en el tiempo de la concentración de ozono en el gas para las tres presiones de entrada de agua.

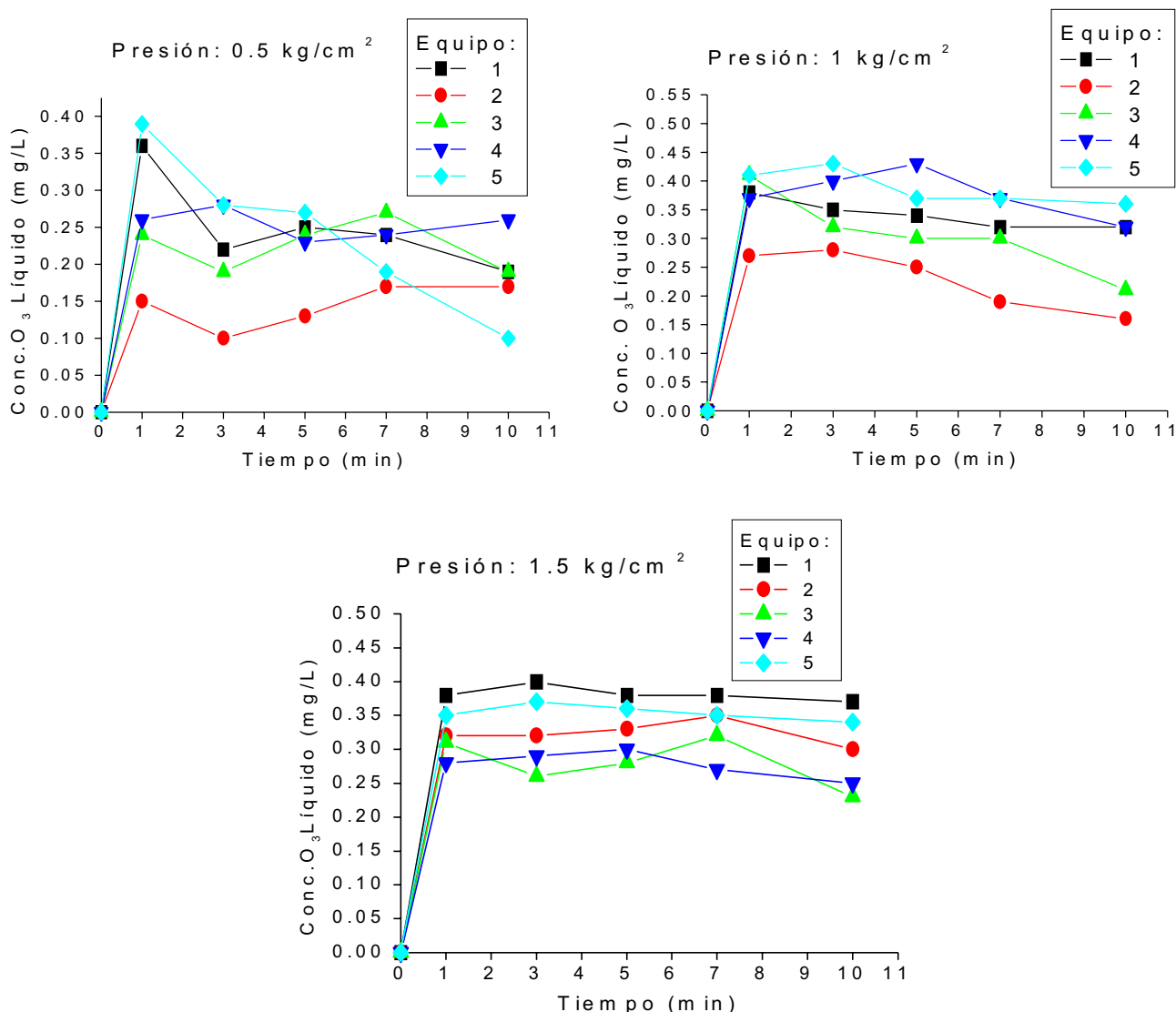


Fig. 6. Variación en el tiempo de la concentración de ozono en el líquido para tres presiones de entrada de agua, en los cinco equipos, a $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 6,95$.

Tabla 4. Tasa de concentraciones de ozono en el líquido y el gas para una presión de entrada de agua de 1 kg/cm^2 y a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tiempo (min)	Equipo				
	1	2	3	4	5
	$\text{CO}_{3\text{g}}/\text{CO}_{3\text{L}}$				
1	7,95	7,22	13,41	6,73	7,80
3	6,60	6,32	8,31	5,32	6,60
5	6,79	8,52	8,87	4,53	6,70
7	6,66	13,00	6,22	4,78	5,76
10	6,09	12,64	7,62	5,00	4,53

peratura promedio del agua fue de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabla 4).

El análisis estadístico de los resultados demostró que no existían diferencias significativas en la concentración de ozono disuelto obtenida cuando la presión del agua es de 1 y $1,5\text{ kg/cm}^2$, siendo significativa la diferencia al compararse con la presión de $0,5\text{ kg/cm}^2$ (Tabla 5). A

partir de estos resultados, se decidió continuar el análisis del funcionamiento de los equipos a una presión de entrada de agua de 1 kg/cm^2 .

El tiempo óptimo de funcionamiento continuo de los equipos resultó de 10 min , tiempo en el cual se pueden obtener alrededor de 10 L de agua ozonizada. Es necesario un período de descanso de los equipos

antes de volverse a conectar de por lo menos 15 min . Esto se debe a que el equipo no dispone de sistema de enfriamiento propio.

Evaluación microbiológica

Durante las pruebas microbiológicas se verificó que las concentraciones de ozono disuelto fueron superiores a $0,3\text{ mg/L}$ en el momento del llenado de los frascos, con lo que se cumplió lo establecido por la norma de la International Bottled Water Association (IWBA).^{18,19}

En todos los casos, se obtuvo una eliminación importante de los microorganismos presentes (Tabla 6), siendo total para los últimos cuatro microorganismos, a los 30 min de envasada el agua y de más de un 99% para los heterótrofos totales, lo que permite cumplir con la norma cubana de agua potable en relación con estos microorganismos.²⁰ Considerando que las concentraciones

Tabla 5. Análisis estadístico realizado a la concentración de ozono disuelto (CO_3 disuelto) para las tres presiones de agua, en los cinco equipos estudiados.

Parámetro estadístico	Presiones de agua (kg/cm^2)					
	0,5 a 1,0		0,5 a 1,5		1,0 a 1,5	
Media (CO_3 disuelto)	0,22	0,33	0,22	0,32	0,33	0,32
Varianza (S^2)	0,005	0,006	0,005	0,002	0,006	0,002
Desviación estándar (S)	0,07	0,08	0,07	0,05	0,08	0,05
Error absoluto ($E\alpha$)	0,029	0,033	0,029	0,019	0,033	0,019
Error relativo (δ)	12,81 %	9,85 %	12,81 %	5,87 %	9,85 %	5,87 %
$F_{\text{calculada}}$	1,285		2,293		2,946	
F_{tabla}	1,980		1,980		1,980	
$t_{\text{calculada}}$	5,053		5,943		0,394	
t_{tabla}	2,000		2,064		2,064	
Diferencias significativas	sí		sí		no	

$n = 48$, $p = 0,05$.

Tabla 6. Resultados obtenidos en el reto microbiológico realizado a las aguas al ser tratadas con el ozonizador doméstico.

Microorganismo	Unidades formadoras de colonias/mL				
	Inicial	0 min	Eliminación (%)	30 min	Eliminación (%)
Heterótrofos totales	9 300	—	—	19	99,79
	6 400	115	98,20	16	99,75
	5 755	16	99,72	7	99,88
	4 690	46	99,02	29	99,38
	3 023	80	93,75	18	99,40
	2 036	27	98,67	15	99,26
	1 695	16	99,05	28	98,35
	760	—	—	0	100,00
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	825	235	71,52	0	100,00
	580	—	—	0	100,00
	350	—	—	0	100,00
	134	34	74,63	0	100,00
	25	6	76,00	0	100,00
<i>Escherichia coli</i>	1 600	1 500	6,25	0	100,00
<i>Salmonella</i> spp.	20 000	200	99,00	0	100,00
<i>Streptococcus faecalis</i>	20 000	200	99,00	0	100,00

iniciales de microorganismos con que se realizaron los retos, fueron elevadas y características de aguas con gran contaminación microbiológica, el resultado obtenido es muy positivo, con una eficiencia de tratamiento muy elevada. Se puede afirmar que con estos equipos se garantiza un agua de excelente calidad en el punto final de uso, frente a posibles contaminaciones microbiológicas de aguas de acueducto que no hayan sido suficientemente tratadas o que puedan recibir una posterior recontaminación antes de llegar a los usuarios.

CONCLUSIONES

Las mejores condiciones de operación del ozonizador doméstico se obtienen para una presión de agua

de $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$, ya que a presiones superiores las concentraciones de ozono disuelto no son estadísticamente diferentes.

La concentración de ozono disuelto disminuye en la época de lluvia, en que aumenta la temperatura del agua y la humedad atmosférica, pero resulta suficiente para obtener un 100 % de desinfección para la *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y *Streptococcus faecalis* y una desinfección superior al 99 % para los heterótrofos totales, en todos los casos, después de 30 min de envasada el agua.

Con estos equipos ozonizadores (funcionando en las condiciones de operación recomendadas), se puede obtener un volumen de agua ade-

cuado para uso doméstico con excelente calidad microbiológica, lo que permite obviar la necesidad de hervir el agua o añadirle cloro antes de consumirla.

BIBLIOGRAFIA

1. U.S. Environmental Protection Agency. National primary drinking water regulations, filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, *Legionella*, and heterotrophic bacteria; Final Rule, Federal Register 54 (124): 27485, 1989.
2. Roustan M., Stambolieva Z., Duguet J.P., Wable O. and Mallevialle J. Research note: Influence of hydrodynamics on *Giardia* cyst inactivation by ozone. Study by kinetics and by "CT" approach. *Ozone Science & Engineering*, **13**, 451, 1991.
3. Finch G.R., Black E.K. and Gyureck L. Ozone disinfection of *Giardia* and

- Cryptosporidium*. American Water Works Association Research Foundation, American Water Works Association, Denver, 1994.
4. Overbeck P.K. Regulatory environment impact on small systems. 14th Ozone World Congress, Michigan, 1, 259-261, 1999.
 5. Bataller M. Determinación de parámetros de diseño en columnas de burbujeo. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Málaga, España, 1995.
 6. DeMarini D.M., Abu-Shakra A., Felton C.F., Patterson K.S. and Shelton M.L. Mutation Spectra in Salmonella of Chlorinated, Chloraminated or Ozonated Drinking Water Extracts: Comparison to MX. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, **26**, 270, 1995.
 7. Rice R.G. Chemistries of ozone for pools and spa water treatment, Proceeding 9th Ozone World Congress, Volume 2, New York, USA, 2, 390-401, 1989.
 8. International Agency for Research on Cancer. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, chlorinated drinking water; chlorination by-products, some other halogenated compounds, Vol. 52. Lyon, 1991.
 9. Huck P. and Anderson W.B. Pilot scale evaluation of ozone and other drinking water disinfection using mutagenicity testing. 8th Ozone World Congress, Zurich, Vol. 1, 29-35, 1987.
 10. www.ozzonic.com/drinksml.htm. Consultado: 06/09/03.
 11. www.promolife.com/products/ozoneh2o.htm. Consultado: 06/09/03.
 12. www.wellnesstools.com/Merchant2/merchant.mv. Consultado: 06/09/03.
 13. www.appliedozone.com/product.html. Consultado: 06/09/03.
 14. NC 92-09/1979. Selección de muestras aleatorias. Comité Estatal de Normalización, Cuba.
 15. Fernández LA, Márquez A, Amador A, Lezcano I, Bataller M. Uso de eyectores para el tratamiento de agua potable. **Revista CENIC Ciencias Químicas**, **29**, 71, 1997.
 16. Bader H. y Hoigné J. Determination of ozone in water by the indigo method. **Water Research**, **15**, 419, 1981.
 17. Bataller M. Caracterización de columna de burbujeo para el tratamiento de agua con ozono. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, 2000.
 18. www.bottledwater.org. International Bottled Water Association (IWBA). Fecha de consulta: 06/09/03.
 19. Mork D., Tecnología en la generación de ozono. Pasado, presente y futuro. Conferencia regional, IOA, Ciudad México, 4, 2002.
 20. NC 93-02/1985. Agua Potable, Requisitos Sanitarios y Muestreo. Comité Estatal de Normalización, Cuba.



RESULTADOS CIENTIFICOS DESTACADOS MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR DE CUBA

MAGNETIZADORES

Centro Nacional de Magnetismo Aplicado,
Universidad de Oriente.

Los magnetizadores son utilizados para dar tratamiento magnético a líquidos y suspensiones acuosas. Se cuenta con una amplia experiencia en el diseño y producción de dispositivos magnetizadores para uso industrial, doméstico y de laboratorio.

PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS MAGNETIZADORES

- ☑ Posibilidad de instalación sin riesgos en lugares de peligro de explosión.
- ☑ No precisan por sí mismos de mantenimiento, ni de cambios de piezas.
- ☑ No requieren de gastos en productos químicos.
- ☑ No contaminan el medio ambiente.
- ☑ No consumen energía eléctrica.
- ☑ Garantizan en un corto plazo la amortización de la inversión que implica la adquisición e instalación del magnetizador.

PRINCIPALES APLICACIONES

Resultan ampliamente ventajosos en todos los sistemas industriales donde exista intercambio de calor (calderas, calentadores, sistemas de enfriamiento, lavadoras de botellas, columnas de destilación, etc.).

Otras de sus bondades se aprecian en sistemas de regadío, agua de piscinas, clarificadores, etcétera.

Para mayor información, dirigirse a:

Centro Nacional de Magnetismo Aplicado
Avenida de Las Américas s/n, Gaveta Postal 4078, Santiago de Cuba.
Teléfonos: 64 3721 y 64 3728. email: douglas@cnea.uo.edu.cu
<http://www.uo.edu.cu/centros/cnea>