

Ozonización del agua de piscinas: una alternativa al método tradicional de cloración

Swimming Pools Water Ozonosation: An Alternative to Traditional
Method of Chlorination

PEDRO EULISES BORRERO SALAZAR

Ingeniero electricista- Universidad del Valle.
pedrobosa@hotmail.com

DIEGO FERNANDO ECHEVERRY IBARRA

Ingeniero electricista de la Universidad del Valle. Candidato al título de Doctorado en
Ingeniería de la Universidad del Valle.
diecheve@univalle.edu.co

GUILLERMO APONTE MAYOR

Ingeniero electricista de la Universidad del Valle. M. Sc. Odel Instituto de Ciencia y
Tecnología Universidad de Manchester UMIST.
gponte@univalle.edu.co

Fecha de recepción: 18 de abril de 2007

Clasificación del artículo: investigación

Fecha de aceptación: 17 de febrero de 2008

Palabras clave: ozonización, piscinas, desinfección, generador de ozono.

Key words: ozonisation, swimming pools, disinfection, ozone generator.

RESUMEN

Tradicionalmente se ha utilizado la cloración en el tratamiento del agua de piscina, sin embargo, debido a los problemas asociados a su uso, actualmente se plantea la ozonización como una excelente alternativa difundida en muchos países. En este artículo se describe el uso del ozono en la desinfección del agua de piscina, y se presenta el diseño, construcción y pruebas de un prototipo generador de ozono para una piscina de 50m³. Por último, se explica el funcionamiento del generador de ozono y se muestra la efectividad del sistema implementado.

ABSTRACT

Traditionally chlorination has been used in swimming pools water treatment, however due to the problems associated to its use; currently ozonation is outlined as an excellent alternative diffused in many countries. In this article, the use of the ozone in swimming pool water disinfection was described, and presented in the design. By the way, and ozone generator's tests for a pool of 50 m³ is shown the construction. The operation of ozone generator is explained and the effectiveness of implemented system is shown.

* * *

1. Introducción

El riesgo de enfermedad o infección asociado con el uso de las piscinas es principalmente debido a la contaminación microbiológica del agua, especialmente, la de origen fecal; muchas de las erupciones cutáneas relacionadas al uso de las piscinas ocurren porque no es aplicada o es inadecuada la desinfección. Para disminuir la contaminación microbiológica es necesario utilizar un desinfectante, el cual, como en el caso del cloro, puede ser la mayor fuente de contaminación química.

Tradicionalmente, los sistemas de desinfección del agua de piscina emplean el cloro, debido principalmente a su bajo costo y a la sencillez de su dosificación. No obstante, la cloración genera problemas indeseables como la formación de trihalometanos o clorofenoles [1], que son considerados generadores de riesgo crónico, debido a su efecto cancerígeno, además de efectos sobre el bienestar de los usuarios, como la irritación de la piel, enrojecimiento de los ojos, inflamación o dolor de oídos, irritación de la mucosa y fuertes olores a cloro, que son debidos a la contaminación química [2 y 3]. Por estas razones se está proyectando el uso del ozono en el tratamiento del agua de piscina, lo cual permite reducir considerablemente la cantidad de cloro adicionada a la piscina, y con esto disminuir los problemas de la cloración [4, 5 y 6]; sin embargo actualmente es muy poca la literatura científica relacionada con el tema.

En el presente artículo se presenta el diseño, construcción y pruebas de un prototipo generador de ozono alimentado con una fuente eléctrica de alto voltaje y alta frecuencia tipo flyback, con circuitos simples, buen desempeño y bajo costo, que fue implementado para el tratamiento del agua de una piscina tipo recirculación expuesta al aire libre.

2. Ozonización del agua de piscinas

La principal aplicación del ozono es el tratamiento de agua para consumo humano [9, 10 y 11], no obstante, en los últimos años está proliferando su uso en procesos en los que se requieren altos niveles de

desinfección u oxidación, por lo que se está minimizando la generación de subproductos [4, 12 y 13]. En el caso de las piscinas, donde existe el problema de la contaminación química producida cuando se descontamina microbiológicamente el agua, la utilización del ozono, en combinación con una pequeña cantidad de desinfectante residual como bromo o cloro, puede ser una alternativa viable [2, 4, 8, 12, 14, 15 y 16]. La norma alemana DIN Standard 19 643, por la cual se rige la mayoría de las piscinas en Europa, aprueba cuatro tratamientos y uno de ellos comprende la ozonización.

2.1 Ventajas y desventajas de la ozonización

Las ventajas del ozono como desinfectante del agua de una piscina frente al uso de la cloración son las siguientes: mayor calidad del agua al disminuir la presencia de subproductos y aumentar los niveles de oxígeno disuelto [6]; ahorro en cantidad de reactivos; conservación del agua por periodos prolongados alargando su vida útil [5]; el ozono, gracias a su mayor potencial de oxido-reducción, no sólo destruye las bacterias patógenas, sino que también inactiva los virus y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro [7]. El ozono puede ser detectado (0,01 ppm) por el hombre mucho antes de que llegue a niveles de riesgo (0.1 ppm), permitiendo tomar las precauciones necesarias.

La principal desventaja que presenta la ozonización es el costo de la inversión inicial, puesto que los sistemas de ozonización son más costosos que los sistemas de cloración, y es necesario contar con los dos sistemas en una piscina. No obstante, el nivel tecnológico alcanzado en la construcción de generadores de ozono ha reducido los costos [17]. Otro inconveniente relacionado con el tema económico, es el tiempo de recuperación de la inversión que puede ser prolongado y depende principalmente del ahorro logrado en insumos químicos; además, debido a que el efecto residual del ozono es limitado, es necesario utilizar pequeñas cantidades de otro desinfectante, por lo tanto, la ozonización se debe justificar por el aumento de la calidad del

agua, el confort de los usuarios, la reducción de infecciones y problemas asociados a los compuestos organoclorados [3].

2.2 Efectos del ozono en el agua

El ozono introducido en el agua realiza dos acciones fundamentales que actualmente son bien conocidas [13]:

2.2.1 Acción microbicida

Debido a su propiedad oxidante, el ozono es considerado como uno de los agentes desinfectantes más rápido y eficaz que se conoce. Quizás, es la propiedad más importante y por la que más aplicaciones se le atribuyen. Su acción posee un amplio espectro que:

- Engloba la eliminación de bacterias (efecto bactericida) y se pone de manifiesto a bajas concentraciones (0,01 p.p.m. o menos);
- Eliminación de virus (efecto viricida), el ozono actúa sobre el virus oxidando las proteínas de su envoltura y modificando su estructura tridimensional;
- Eliminación de hongos (efecto fungicida), el ozono mediante su acción oxidante provoca un daño celular irreversible.
- Eliminación de esporas (efecto esporicida), el ozono, en concentraciones ligeramente superiores a las usadas para el resto de las bacterias, es capaz de acabar con la resistencia de las esporas.

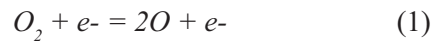
2.2.2 Acción fisicoquímica

El ozono tiene la habilidad de ser un fuerte oxidante de soluciones acuosas y ataca a la mayoría de los metales, excepto el oro y el platino. Su acción abarca la oxidación de contaminantes inorgánicos incluyendo el hierro, manganeso y sulfuro; oxidación de microcontaminantes orgánicos, incluyendo los que generan sabor y olor, fenoles y algunos pesticidas y oxidación de macrocontaminantes orgánicos como remoción de color; incremento de la biodegradabilidad de compuestos orgánicos, control de

precursores de subproductos de la desinfección y reducción de la demanda de cloro.

2.1 Generación e inyección del ozono en el agua

El ozono se puede producir cuando las moléculas de oxígeno (O_2) se someten a un campo eléctrico intenso logrando que éstas se dividan en átomos individuales (O), los cuales, a su vez, reaccionan con otras moléculas de oxígeno formando moléculas de ozono (O_3). Las ecuaciones 1 y 2 representan este proceso. El ozono en su formación adquiere una alta cantidad de energía que lo hace una sustancia muy inestable, lo que permite muchas aplicaciones, pero también obliga a que se genere en el lugar donde se demande su uso.



Existen varias formas de aplicar el ozono en el agua; sin embargo, en el caso de las piscinas generalmente se utiliza la inyección por tubo venturi, que consiste de una sección de tubería, por la cual circula el agua que se desea ozonizar; en esta sección de tubería se tiene una reducción de su diámetro, de tal forma que se logra una caída de presión en este punto, lo que se aprovecha para instalar la entrada del gas ozono y lograr su contacto y mezcla con el agua.

3. Experimentación

A fin de observar el funcionamiento de un sistema de generación de ozono y su efecto desinfectante en el agua de una piscina, se planteó diseñar y construir un equipo generador de ozono, adecuar la instalación hidráulica de una piscina para inyectar el ozono en el agua y realizar ensayos de ozonización.

3.1 Construcción del generador de ozono

La dosis de diseño para probar la ozonización del agua de piscina fue de $0,5 \text{ gO}_3/\text{m}^3$. Se planteó este valor por razones económicas, debido a que para valores superiores se requiere un generador de ozono de mayor producción; otra razón que se planteó fue utilizar un 25% del cloro que normal-

mente se dosificaba a la piscina; además la piscina bajo prueba es de uso privado y por lo general el número de usuarios es reducido. Dado que el sistema hidráulico recircula el agua entre ocho y doce horas, la producción de ozono estimada para suplir la dosis está entre 2 y 3 gO₃/h.

Para la construcción del sistema de generación de ozono se diseñó una celda por descarga de barrera dieléctrica alimentada con pulsos de alta frecuencia y alto voltaje. Para alcanzar la producción necesaria y las mejores condiciones de funcionamiento, se ajustó el ciclo de trabajo de la fuente y el nivel de tensión. El generador de ozono fue diseñado y construido en el Grupo de Investigación en Alta Tensión-GRALTA de la Universidad del Valle, con una capacidad de producción de 2,4 gO₃/h.

3.2 Implementación del sistema de ozonización en la piscina

El generador construido se instaló en una piscina de recirculación de 50 m³ de uso privado; se realizaron las menores modificaciones al sistema de recirculación que existía en la piscina. El sistema hidráulico emplea una bomba de recirculación y un filtro de arena marca Hayward, a un caudal máximo de 35GPM. La figura 1, muestra el esquema de instalación del sistema de ozonización en la piscina. Como se observa el esquema de instalación es igual al de

la cloración, con la salvedad de que se introduce el inyector Venuri tipo Bypass en la tubería del agua que proviene de la bomba. Cuando el agua entra en contacto con el ozono continúa su paso hasta llegar al vaso de la piscina y este proceso se repite durante todo el tiempo de recirculación. Según lo anterior, este nuevo sistema se puede adecuar fácilmente en piscinas ya existentes.

El sistema de inyección de ozono consta de un inyector venturi, puesto que su instalación es sencilla y más económica comparada con la difusión por burbujeo. El venturi se seleccionó según las especificaciones del sistema hidráulico de la piscina, el tiempo de recirculación del agua y el procedimiento y tablas dadas por el fabricante (Mazzei). La instalación seleccionada permite variar el flujo de agua que circula por el inyector y el flujo de succión de ozono. En la figura 2 se muestra el esquema de instalación tipo Bypass y una imagen del inyector instalado. En la figura 3 se presenta una imagen de la piscina.

3.3 Ozonización de la piscina

En este trabajo se observó el comportamiento de los parámetros microbiológicos del agua de una piscina al aplicar cierta cantidad de ozono y reducir la cantidad del cloro que normalmente se dosificaba y que según datos históricos cumplía con los requerimientos de desinfección y cloro residual.

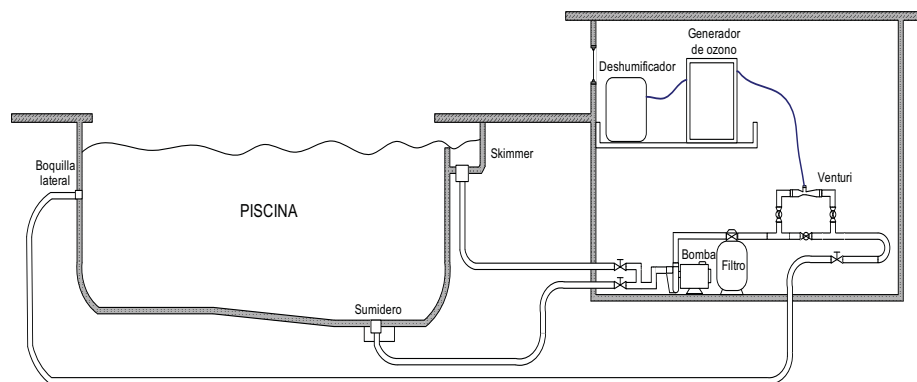
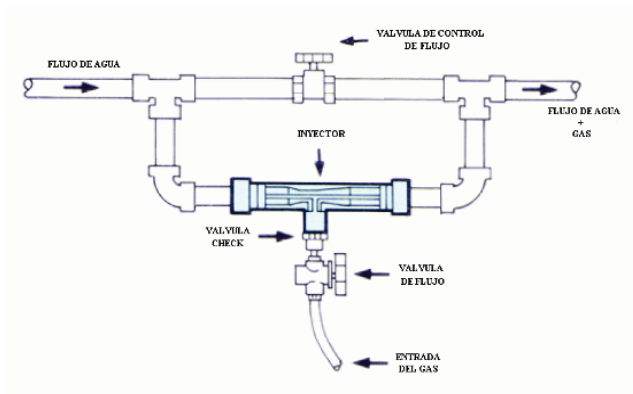
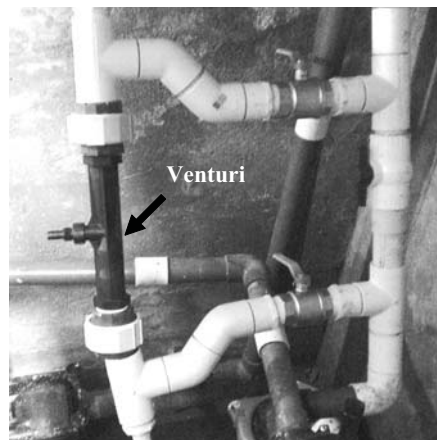


Figura 1. Esquema del sistema de ozonización



a) Esquema de conexión del inyector



b) Inyector instalado

Figura 2. Sistema de inyección de ozono



Figura 3. Piscina de 50m³

La evaluación del sistema fue ejecutada por el Grupo de Investigación en Alta Tensión (Gralta), de la Universidad del Valle; con la colaboración del Laboratorio de Aguas de (Acuavalle S.A., Florida, Valle) en la realización de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos del agua. La experimentación consistió en utilizar la ozonización, más un 25% del cloro que normalmente se utilizaba en la piscina. La capacidad de desinfección del agua se midió con base en los siguientes parámetros de calidad microbiológica: coliformes totales, mesófilos y escherichia coli. También se analizaron otros parámetros fisicoquímicos de control como color, turbiedad, alcalinidad, cloruros, pH, dureza, sulfatos, nitritos, hierro y conductividad.

Para identificar la aplicabilidad del generador de ozono en la desinfección del agua, se realizó un muestreo en cinco puntos repartidos en el perímetro de la piscina a una profundidad de 20 cm. Estos análisis se realizaron antes y después de efectuar el tratamiento del agua. El sistema de ozonización está en funcionamiento continuo durante el tiempo de recirculación.

4. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el diseño, construcción, pruebas y ajustes al prototipo de generación de ozono y su utilización en la desinfección del agua de piscina.

4.1 Diseño y evaluación del equipo de generación de ozono

Básicamente el equipo de generación de ozono construido consta de cuatro componentes: celda de descarga, fuente eléctrica, fuente de oxígeno y sistema de refrigeración. En el diagrama 1 se presenta un esquema del equipo construido.

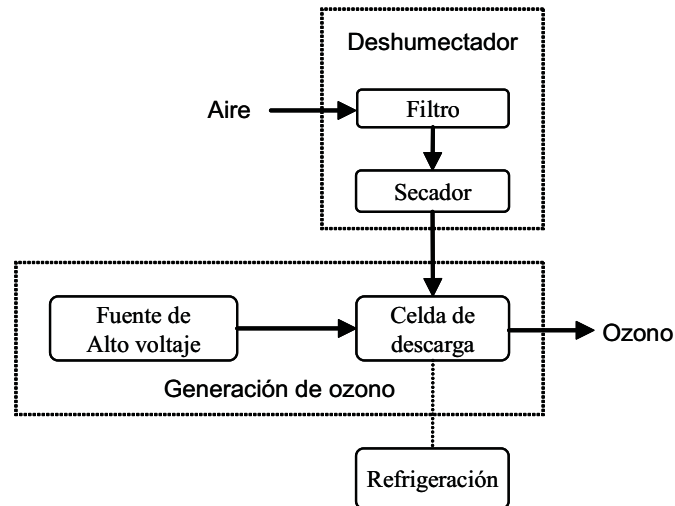


Diagrama 1. Componentes del prototipo de generación de ozono

El equipo generó el ozono por el método de descarga de barrera dieléctrica (DBD) de alta frecuencia, en la figura 4 se muestra el esquema de la celda utilizada en este trabajo. La celda de descarga es del tipo de electrodos cilíndricos coaxiales de 30 cm de longitud, separados por una capa dieléctrica de vidrio Pyrex de 1,5mm de espesor y un gap de 0,5 mm por donde se hace circular el gas de alimentación, que en este caso es aire seco suministrado por un equipo deshumificador. El electrodo externo es

de acero 304 y el electrodo interno es una película conductora de nitrato de plata adherida a la superficie interior del dieléctrico que fue desarrollada en la Universidad del Valle. El material dieléctrico entre los electrodos, permite la formación de microdescargas de corta duración, que se distribuyen en toda la superficie del gap, además disminuye la probabilidad de formación de un arco eléctrico. La celda de descarga es refrigerada por circulación de agua.

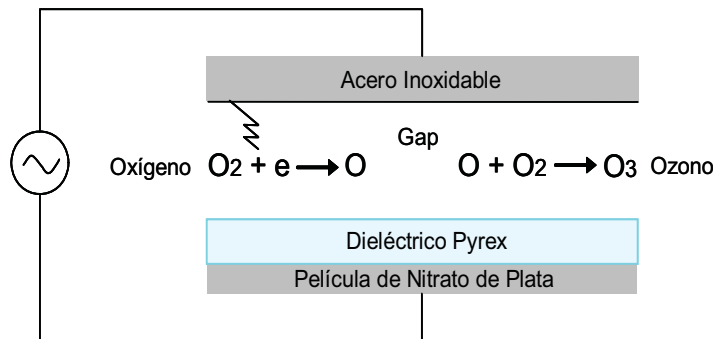


Figura 4. Esquema de la celda DBD

La alimentación eléctrica se realiza por medio de un inversor tipo Flyback que está conformado por un circuito de gobierno (oscilador) que genera monopolos de corta duración (μs) a alta frecuencia (1-50 kHz) basado en dos circuitos integrados CI555, una

etapa de potencia que amplifica los monopolos y un transformador de tecnología ferrita que los eleva hasta 8kV_{pp} . En la figura 5 se muestra una imagen de la celda DBD construida y el equipo generador de ozono.



a) Celdas de descarga



b) Generador de Ozono

Figura 5. Equipo generador de ozono

El inversor permite el ajuste manual del ciclo de trabajo para variar la producción de ozono. De los resultados obtenidos en las mediciones, el prototipo se ajustó para un ciclo de trabajo con $T_{ON(\text{encendido})}$: $53\mu\text{s}$ y $T_{OFF(\text{apagado})}$: $42\mu\text{s}$, a una frecuencia de $10,5\text{kHz}$; obteniendo una producción de ozono de

$2,4 \text{ grO}_3/\text{h}$, en la que se utilizaron dos celdas de DBD; este punto de operación se seleccionó teniendo en cuenta la forma de onda en el mosfet. La figura 6 muestra una imagen del circuito inversor. En la gráfica 1 se muestran las formas de ondas en el mosfet y en las celdas.

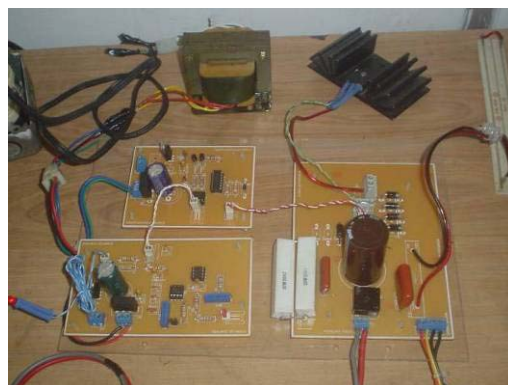
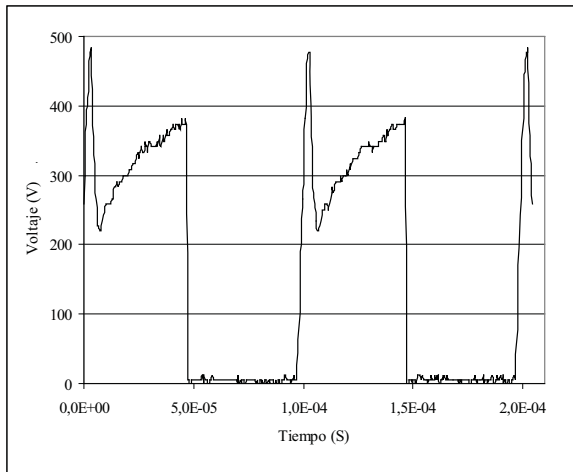
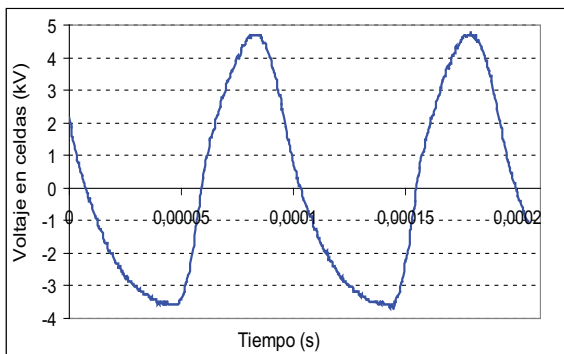


Figura 6. Circuito inversor tipo flyback



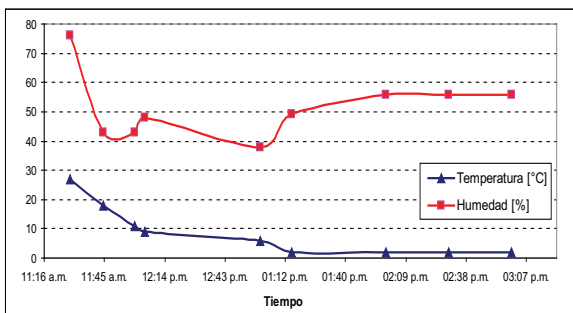
a)



b)

Gráfica 1. a) Forma de onda en el Mosfet. b) Señal de alto voltaje.

Para la alimentación de oxígeno se usó aire seco obtenido en un deshumificador diseñado para un flujo máximo de 100 l/min; en la gráfica 2 se muestra su curva de funcionamiento.



Gráfica 2. Evolución de la temperatura y humedad relativa del aire tratado.

4.2 Ozonización del agua de la piscina

En la tabla 1 se muestran los resultados al ozonizar el agua de la piscina durante cuatro horas, sin el efecto del cloro. En esta prueba se puede observar la acción del ozono en los parámetros fisicoquímicos del agua, se destaca la reducción del contenido de hierro, nitritos y cloruros en el agua. Para un tiempo de recirculación de sólo cuatro horas, se alcanzó una inactivación para coliformes totales de 99,7%, para mesófilos de 96,5% y para E. coli del 100%

		Magnitud	
		0 horas	4 horas
Análisis Microbiológicos	Coliformes totales, UFC/100ml	1.690	15
	Bacterias mesófilas, UFC/100ml	39.000	1.600
	Escherichia coli, UFC/100ml	100	4
Análisis Fisicoquímicos	Turbiedad, UNT	3,56	2,89
	Color real, UPC	3	1
	Alcalinidad total, mg/l	29,2	22,7
	Cloruros, mg/l	240	190
	Cloro libre residual, mg/l	0	0
	pH	7,25	7,11
	Dureza total, mg/l	295	271
	Sulfatos, mg/l	94,6	93,1
	Nitritos, mg/l	0,011	0,003
	Hierro, mg/l	0,06	0,01
Conductividad, $\mu\Omega/cm$	110	107	

Tabla 1. Calidad del agua sólo con ozonización.

Los resultados de utilizar sólo ozono en el tratamiento del agua de la piscina indican que el generador construido logró un alto nivel de remoción de microorganismos. A fin de lograr una remoción del 100% y garantizar el nivel de cloro residual, se incrementó el tiempo de ozonización a seis horas y se utilizaron sólo 250 gr de cloro (25% del utilizado normalmente). La cantidad de cloro se puede reducir, debido a que el ozono realiza acciones desinfectantes y oxidantes, que reducen la demanda de cloro.

Según la experimentación realizada, cuando se utilizó como medio desinfectante la combinación ozono-cloro durante seis horas de recirculación, se observó la remoción del 100% de los microorganismos cumpliendo con el valor de la norma [18], el

cloro residual en el momento de las pruebas osciló entre 1,1 y 1,8 mg/l. En la tabla 2, se presenta un resumen de estos resultados. Es posible que al aumentar la dosis de ozono, se reduzca la cantidad de cloro utilizada y el tiempo de recirculación.

Parámetro	Agua sin tratamiento	Tratamiento (4 horas)	Tratamiento (6 horas)	Valor de norma
		Ozono+Cloro	Ozono+Cloro	
Coliformes totales [UFC/100ml]	1690 - 6500	0-18	0	0
Mesófilos [UFC/100ml]	39000-72000	0-2500	0	<200
E. Coli [UFC/100ml]	100-1540	0	0	0

Tabla 2. Resultados microbiológicos del sistema de ozonización y cloración

4.3 Costos del sistema implementado

El costo del prototipo incluye solamente el costo de la materia prima utilizada en la construcción e instalación. En la tabla 3 se muestran los costos de los componentes del sistema de ozonización. Es importante especificar que este sistema es un prototipo, en el que se pueden optimizar los costos, sin embargo, se estima que estos equipos desarrollados en el país pueden ser más económicos que equipos importados, en los cuales el costo de un generador de características similares, sin incluir gastos de envío, ni impuestos, oscila entre 400 y 1.000 euros [19, 20 y 21].

Detalle	Costo (miles de pesos)
Prototipo generador de ozono	\$ 950,0
Prototipo deshumificador	\$ 550,0
Sistema de inyección de ozono (venturi y accesorios)	\$ 500,0
Instalación del sistema	\$ 150,0
TOTAL	\$ 2.150,0

Tabla 3. Costo del sistema de ozonización

El costo del consumo de energía eléctrica fue calculado con base al precio del kW-h que la Empresa EPSA cobra en el lugar de ubicación de la

piscina. Esta tarifa corresponde a aproximadamente 190\$/kW-h, para consumo residencial. El costo del consumo de energía se calculó con la siguiente expresión:

$$C_e = P \times T \times V$$

Donde,

Ce: Costo de energía;

P: Potencia activa;

T: Horas de funcionamiento;

V: Valor del kW-h;

Para el equipo generador de ozono se tiene que:
 $C_e = 0,160\text{kW} \times 6 \text{ horas} \times 190\$/\text{kW-h} = \$ 182.4$

Para el deshumificador:
 $C_e = 0,120\text{kW} \times 6 \text{ horas} \times 190\$/\text{kW-h} = \$ 136.8$

Para la bomba de recirculación:
 $C_e = 0,560\text{kW} \times 6 \text{ horas/mes} \times 190\$/\text{kW-h} = \$ 638.4$

Por lo tanto, el incremento en costos de energía por utilizar el sistema de ozonización es de \$319,2 sin considerar la bomba de recirculación, puesto que ésta opera al mismo tiempo tanto para la ozoniza-

ción como para la cloración. Bajo las condiciones de la experimentación, se observó una reducción en la cantidad de cloro del 75 % y un incremento en el consumo de energía eléctrica del 50%. Es necesario realizar más ensayos y evaluar el funcionamiento de la piscina durante un periodo prolongado para garantizar un 100% de desinfección en diversas condiciones y calcular con exactitud el ahorro en los gastos debidos a insumos químicos y determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

Estos resultados preliminares muestran la efectividad del sistema en la remoción de microorganismos; sin embargo, es necesario realizar más ensayos de ozonización y ajustar el sistema para determinar la dosis óptima de ozono, lograr una reducción mayor de cloro y efectuar una evaluación económica en nuestro país. Se destaca que aunque la ozonización es ya usada en otras aplicaciones, es una innovación en nuestro país en el tratamiento del agua de piscina.

Actualmente los resultados de los trabajos realizados en el Grupo de Investigación GRALTA, incluyendo los obtenidos en este trabajo, permitieron sustentar una idea de negocio que se está desarrollando en el Programa de Emprendimiento Empresarial de la Universidad del Valle para la conformación de una empresa dedicada a la fabricación de generadores de ozono.

5. Conclusiones

Se logró construir e instalar un sistema de ozonización que permite desinfectar el agua de una piscina de 50 m³; donde se lograron eficiencias del 100% en la inactivación de coliformes totales, mesófilos y E. coli, cuando se utilizó conjuntamente ozono y cloro, con un tiempo de ozonización de seis horas. Además al utilizar únicamente ozono se lograron eficiencias de 99,1% en la inactivación de coliformes totales, de 95,89% para mesófilos y 96% para E. coli.

Si se evalúa la experiencia en la construcción del prototipo generador de ozono instalado en el sistema de tratamiento de la piscina, se puede estimar que es factible realizar su producción en serie en nuestro país. Se prevé que la fabricación de este equipo puede resultar más económica que los generadores de ozono importados, garantizando además la calidad y el desarrollo tecnológico. No obstante, se requiere de estudios posteriores para determinar la operación óptima en términos de cantidad de cloro, dosis de ozono y factores económicos.

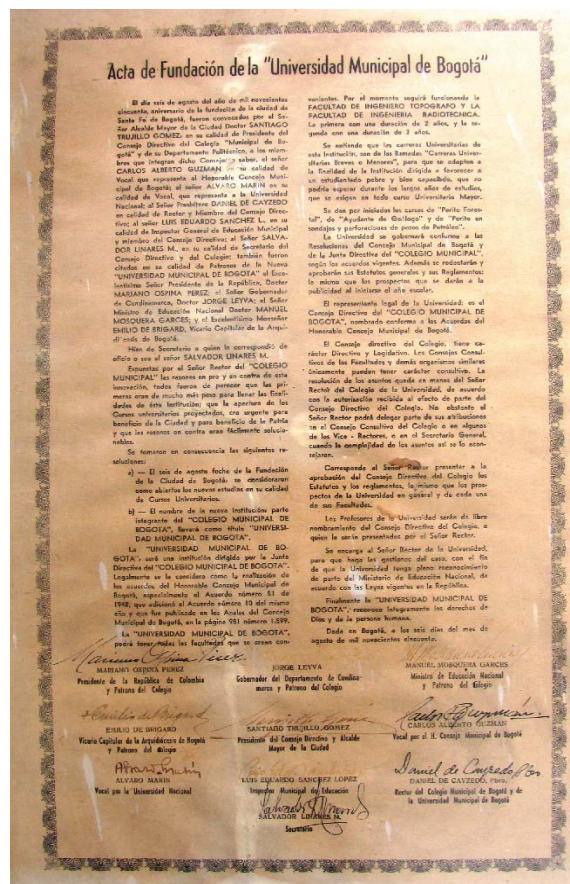
Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al laboratorio de Acuavalle S.A., ubicado en el municipio de Florida (Valle-Colombia).

Referencias bibliográficas

- [1] WHO-World Health Organization. (2005) *Trihalomethanes in Drinking-Water* [en línea]. Disponible en: www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf
- [2] WHO-World Health Organization. (2006) *Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Swimming Pools and Similar Environments* (Vol. 2) [en línea]. Disponible en: http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/bathing/srwe2full.pdf
- [3] Castro, N., Chaidez, C. (2003) Riesgos microbiológicos asociados al uso de piscinas públicas. *Agua Latinoamérica*, 3 (2), 16-20.
- [4] Rice, R. (1980) "The Use of Ozone to Control Trihalomethanes in Drinking Water Treatment. *Ozone Science & Engineering*, 2 (1), 75-99.
- [5] Bataller, M. et al. (2000) Aplicación del ozono en el tratamiento de aguas de piscinas. *CENIC Ciencias Químicas*, 31 (2), 99-117.
- [6] Gomà, A., Quintana J., y Soler, J. (2005) Subproductos halogenados de desinfección en Aguas recreacionales ozonizadas. *Tecnología del agua*, 1 (259), 56-63.
- [7] Bin, A. (2001) Swimming Pool Water Treatment with Ozone as a Standard of the Highest Water Quality in the Newly Constructed Swimming Pools in Poland. En Proc. 15th Ozone World Congress. Londres.
- [8] Bartrolí, J. and Gomà, A. (September, 2002) Water Disinfection by Means of Ozone in the Olympic Swimming Pool of the Autonomous University of Barcelona. 8th FECS Conference on Chemistry and the Environment.
- [9] Evans, F. (1972) *Ozone in Water and Wastewater Treatment*. USA: Ed. Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- [10] Georgeson., D. and Karimi, A. (1988) Water Quality Improvements with the Use of Ozone at the Angeles Water Treatment Plant. *Ozone Science & Engineering*, 10, 255-276.

- [11] Galvis, A., D. Aponte., M. Echeverry., González., Cardona, D. (2005) Evaluación del funcionamiento de un generador de ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano. *Ingeniería y competitividad*, 7, 65-72.
- [12] Kelsall, H. and Sim, M. (2001) Skin Irritation in Users of Brominated Pools. *International Journal of Environmental Health Research*, 11, pp. 29-40.
- [13] EPA Environmental Protection Agency, Office of Water. (1999) *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. Washington, Estados Unidos.
- [14] R. Terao., Mori K, and M. Matsui. (2001) "100% Ozone-Treatment System for Bath and Swimming Pool Water : CERAZONE. Proceedings EcoDesign 2001: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Japon, pp. 477-480
- [15] Beaton, A. J. (January, 2004) *First Ozone-Only Public Swimming Pool Operating In The United States. Chlorine Free Products Association, USA* [en línea]. Disponible en: <http://www.chlorinefreeproducts.org/press-releases/01-26-04.pdf>.
- [16] Román, N. (Diciembre de 2002) *La piscina más avanzada del mundo* [en línea]. Disponible en: http://www.elpais.com/articulo/cataluna/piscina/avanzada/mundo/elpepuespcat/20021205elpcat_13/Tes
- [17] Echeverry, D., Cadavid, H., Alonso, J. M., Aponte, G, and Gálvis, A. (Sin fecha) *Experimental Results of a Cost-Effective Ozonator for Water Treatment in Colombia*. (Sometido a consideración en la revista internacional Ozone Science and Engineering.)
- [18] Normas y disposiciones sanitarias para la vigilancia y control de aguas y establecimientos de uso recreativo. Secretaría de Salud Pública Municipal, Santiago de Cali. Resolución No. 4212.31.0041. (2006). Colombia.
- [19] Página Web comercial disponible en: <http://www.interpurewater.110mb.com/generador-ozono.html>
- [20] Página Web comercial disponible en: http://www.solostocks.com/lotos/comprar/ozono_para_piscinas_generador_de_ozono_hasta_200_m3/oferta_1100566.html
- [21] Página Web comercial disponible en: http://www2.segundamano.es/ar?ca=46_k&id=8905719



Acta de fundación de la Universidad Municipal de Bogotá, uno de los primeros nombres que tuvo la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.