

# Aplicación del ozono en el tratamiento de aguas de piscina

Mayra Bataller Venta, Eliet Véliz Lorenzo, Mirza Gutiérrez Milián, Lidia A. Fernández García, Rafael Pérez Rey y Caridad Alvarez Alvarez

Centro de Investigaciones del Ozono, Apartado Postal 6880, Ciudad de La Habana, Cuba

Recibido: 7 de junio de 1999

Aceptado: 10 de enero del 2000

Palabras clave: ozono, piscina, eyector, tratamiento de agua

Key words: ozone, swimming pool, injector, water treatment

**RESUMEN.** El trabajo presenta los resultados de la evaluación durante un año de una tecnología de tratamiento de agua de piscina con ozono en nuestras condiciones climáticas, aspecto que destaca su novedad, comprobándose que bajo las condiciones de operación evaluadas se obtuvo un agua con la calidad físico-química y microbiológica requerida según las normas vigentes, lo que garantizó un agua estéticamente agradable y segura sin riesgos para la salud de los bañistas. El estudio se dividió en dos etapas bien definidas por diferentes características principalmente climatológicas, de temperatura del agua de la piscina, así como en carga de bañistas, de esta manera se definieron los parámetros de operación y las dosis de reactivos a emplear en el tratamiento, tanto en invierno como en verano. Se recomienda una dosis aplicada de ozono entre 2 y 3 g/m<sup>3</sup>, una dosis de bromuro de sodio entre 10 y 20 g/m<sup>3</sup> y un volumen diario de ácido clorhídrico de 1 a 2 L; se utilizó sulfato de cobre como alguicida en dosis 0,5 y 3,0 g/m<sup>3</sup> y sulfato de aluminio como coagulante en dosis de 5 a 10 g/m<sup>3</sup>. La evaluación económica para una piscina de 500 m<sup>3</sup> arrojó un costo de operación anual de 15 146 USD y un costo por m<sup>3</sup> de agua a tratar de 0,07 USD para 8 horas de tiempo de recirculación. El sistema de tratamiento que se propone refleja un ahorro en cantidad y variedad de reactivos respecto a la cloración, a la vez que permite la conservación del agua por periodos prolongados alargando su vida útil, aspecto importante dada la carestía y escasez del agua, además de que disminuye el costo de mantenimiento de las piscinas y permite no depender del suministro de cloro.

**ABSTRACT.** This paper presents the results of the evaluation throughout one year of a technology of swimming pool water treatment with ozone under environmental conditions of Cuba, which is a novelty, verifying that under evaluated operating conditions it has been obtained water with the required physical-chemical and microbiological quality according to up-to-date standard, which guaranteed a nice and safe water, without risks for the health bathers. The study was divided into two well defined periods, with different characteristics, such as climatological and swimming pool water temperature and bather number. To divide the work into two periods allows the definition of the operation's parameters and reagent doses to apply in the treatment, in winter and summer. It has been recommended an ozone dose between 2 and 3 g/m<sup>3</sup>, a sodium bromide dose between 10 and 20 g/m<sup>3</sup> and a daily volume of chlorhidric acid of 1 to 2 L, cupric sulfate was used as alguicide in a dose of 0,5 and 3,0 g/m<sup>3</sup>, and aluminum sulfate as a clotting in a dose of 5 to 10 g/m<sup>3</sup>. Annual operation cost for a swimming pool of 500 m<sup>3</sup> of capacity would be 15 146 USD and the cost in order to treat one m<sup>3</sup> of water will be 0,07 USD for 8 hours of recirculating time respectively. On the other hand, the treatment system with ozone presents economical advantages with regards to cloration, allowing the water conservation this is very important due to the high prices and the relative scarcity of this important resource.

## INTRODUCCION

El disfrute de las piscinas en las instalaciones turísticas tiene un lugar importante pero puede constituir una fuente potencial de riesgo para la salud, razón por la cual se debe dotar a las mismas de equipamiento y tratamientos eficientes. Las regulaciones de Salud Pública exigen el cumplimiento de las normas de calidad de agua para piscinas, garantizando los requerimientos físico-químicos y microbiológicos, organolépticos y estéticos.<sup>1,2</sup>

La eficiencia del ozono como agente oxidante y desinfectante, unido a que no produce compuestos organoclorados, permite la obtención de un agua completamente inócua y de gran calidad organoléptica. Paralelamente el nivel tecnológico alcanzado en la construcción de ozonizadores ha abaratado el costo del ozono convirtiéndose dicha vía de tratamiento en la más aconsejable por la calidad del agua que se logra.

La norma alemana DIN Standard 19 643,<sup>1</sup> por la cual se rige la mayoría de las piscinas en Europa aprueba cuatro tratamientos y uno de ellos comprende la ozonización. En Europa más de 3 000 piscinas emplean el ozono, lo que demuestra la aceptación con respecto a la cloración.<sup>3-11</sup>

El presente estado del arte en el tratamiento de piscinas sugiere el empleo del ozono como agente oxidante, eliminando el exceso del mismo antes de que el agua entre en la piscina y la adición de un desinfectante residual.<sup>3</sup>

El proceso ozono/ion bromuro<sup>3</sup> que se evalúa en este estudio bajo nuestras condiciones ambientales ha sido aplicado en cientos de piscinas en Alemania con la aprobación de las regulaciones locales y cumple con los criterios de la DIN Standard.<sup>1</sup>

La introducción de esta tecnología en Cuba constituye una primera experiencia, ya que la práctica internacional se enmarca en climas fríos y templados, en piscinas generalmente bajo techo y no expuestas a las severas condiciones climáticas de nuestra región.

### MATERIALES Y METODOS

El estudio se dividió en dos etapas con diferentes características climatológicas y carga de bañistas, con el objetivo de definir las condiciones de operación y dosis de reactivos a emplear en el tratamiento, en invierno (etapa I: Octubre 1997-marzo 1998) y en verano (etapa II: Abril 1998-septiembre 1998). Las condiciones de operación en ambas etapas fueron: flujo de agua de recirculación hasta 13 m<sup>3</sup>/h, flujo de gas hasta 1,5 m<sup>3</sup>/h, dosis de ozono aplicada entre 2 y 3 g/m<sup>3</sup>, tiempo de recirculación de 6 a 8 horas y un tiempo de contacto mayor de 2 min.

#### Descripción de la instalación general para el tratamiento del agua de la piscina

La piscina tiene un volumen de 76 m<sup>3</sup> y una profundidad promedio 1,35 m. El sistema de recirculación empleado es "hidráulica invertida" adecuado para evitar la acumulación de contaminantes en la superficie. El agua a tratar se recoge en la superficie por reboso mediante un canal perimetral, pasa al tanque de compensación (permite el aporte diario del agua de reposición para compensar las pérdidas y garantizar la renovación del agua de la piscina) y después al sistema de tratamiento. Una vez tratada el agua se incorpora por el fondo de la piscina a través de boquillas de impulsión. Se emplean bombas centrífugas con un caudal de 15 m<sup>3</sup>/h con prefiltros.

En la Fig. 1 se representa el sistema de tratamiento, el agua es filtrada a través de un filtro de arena sílice rápido a presión, con una granulometría de 0,5-0,7 mm. El sistema de contacto gas líquido consta de un eyector y un tanque de contacto, el caudal de agua filtrada se ramifica y en una derivación se coloca el eyector que permite la entrada del aire ozonizado. Para aumentar la velocidad del flujo del agua

a través del eyector y garantizar una buena mezcla, se emplea una bomba recirculadora a la entrada del mismo. El agua se incorpora a la línea principal y pasa a un tanque de contacto que está provisto de electrodos de nivel que garantizan el funcionamiento automático del sistema. El ozono gaseoso a la salida del tanque se destruye catalíticamente.

El ozonizador fue diseñado y construido en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) con una capacidad de producción de 60 g/h. El sistema de secado está diseñado para un flujo máximo de gas de 3 m<sup>3</sup>/h.

#### Tratamiento químico

El tratamiento químico es el llamado proceso ozono/ion bromuro, que se basa la oxidación del ion bromuro (Br<sup>-</sup>) a ion hipobromito (BrO<sup>-</sup>) y a ácido hipobromoso (HBrO) por el ozono, la reducción de estas especies del bromo a ion bromuro al actuar sobre los contaminantes presentes en el agua de la piscina y su posterior reoxidación con el ozono.

En ambas etapas se aplicó una dosis inicial de bromuro de sodio entre 10 y 20 g/m<sup>3</sup>, directamente en la piscina o en el tanque de compensación, añadiéndose semanalmente un por ciento de acuerdo al agua de reposición. Se utilizó semanalmente sulfato de cobre como alguicida,<sup>12, 13</sup> ya que no interfiere con la ozonización, se evaluaron dosis comprendidas entre 0,5 y 3,0 g/m<sup>3</sup>.

Para reducir el pH y la alcalinidad a los niveles requeridos, se empleó ácido clorhídrico comercial por su bajo costo. Se añadió diariamente de 1 a 2 L, según el procedimiento empleado para cada caso. Como coagulante se añadió sulfato de aluminio en dosis de 5 a 10 g/m<sup>3</sup>, cuando hubo un aumento excesivo de la turbiedad.

#### Análisis físico-químicos

El olor y sabor se evaluó por opinión general de los bañistas. La transparencia se evaluó diariamente empleando el criterio de la norma cubana de piscina.<sup>2</sup> La temperatura se midió diariamente a las 12:00 m, con un termómetro en el centro de la piscina y en la superficie del agua. El pH del agua de la piscina y de reposición se midió diariamente con un pHmetro Philips PW 9418, en 3 horarios del día (8:00 a.m., 12:00 m, 4:00 p.m.) durante todo el período de estudio. La turbiedad se determinó por un método espectrofotométrico<sup>14</sup> una vez por semana.

Los siguientes parámetros se midieron por los métodos descritos en el Standard Methods<sup>15</sup> para cada caso respectivamente: el color se determinó diariamente mediante comparación de patrones, la alcalinidad y dureza total del agua de reposición y de la piscina se determinó en días alternos durante todo el período de estudio. En cuanto a la dureza total del agua de la piscina como se añade sulfato de cobre como alguicida, fue necesario eliminar la interferencia del cobre.<sup>15</sup> Respecto a la concentración de nitrato<sup>15</sup> se utilizó un espectrofotómetro UV/visible marca ULTROSPEC III de la firma Pharmacia LKB con una frecuencia semanal. Para la determinación de la concentración de amonio<sup>15</sup> se empleó un pHmetro-ionómetro ORION 720 A con un electrodo selectivo de amonio, esta medición se realizó semanalmente.

La concentración del bromo libre residual en el agua de la piscina se midió diariamente en tres horarios (8:00 a.m., 12:00 m, 4:00 p.m.), por el método colorimétrico de la ortotolidina.<sup>16</sup> Para comprobar la variación de los niveles de cobre se midió tres veces por semana su concentración utilizando un espectrómetro de absorción atómica 919 Unicam.

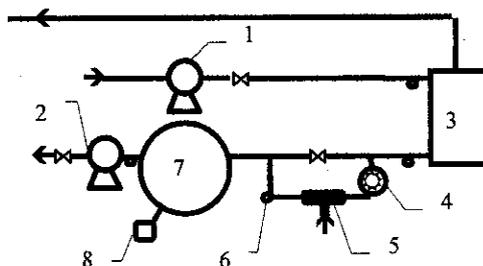


Fig. 1. Esquema de las etapas de filtración y ozonización

1. Bomba de succión; 2. Bomba de impulsión; 3. Filtro de arena; 4. Bomba de recirculación; 5. Eyector; 6. Toma muestra; 7. Tanque de contacto; 8. Destructor de ozono

La concentración de ozono en el gas se midió diariamente en la entrada del gas al eyector y en la salida superior del tanque de contacto, mediante un equipo Ozomat-Anseros de fabricación alemana.

#### Análisis microbiológicos<sup>17</sup>

Se utilizó la técnica de conteo en placas de agar triptona soya para determinar Heterótrofos totales a 37 °C, la técnica de filtración de membrana para *Pseudomonas* a 37 °C en agar base para *Pseudomonas*, y la técnica de tubos múltiples (5 tubos doble fuerza) para el conteo de Coliformes totales a 37 °C en caldo lauryl sulfato y Coliformes fecales a 44,5 °C en caldo bilis verde brillante con la prueba de indol positiva que indica la presencia de *E. coli* hasta un 97 %. Los puntos de muestreo fueron seis y éstos se repartieron en cinco puntos dentro de la piscina y un punto después del tratamiento. Estos análisis tuvieron una frecuencia semanal durante todo el estudio, en días de alta carga de bañistas.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

En ambas etapas para lograr que el agua estuviera equilibrada se procedió a reducir la alcalinidad y el pH a los niveles recomendados (Tabla 1), con la adición diaria de HCl previa

determinación de la demanda de ácido, comprobándose por el índice de Langelier<sup>11</sup> que el agua no era incrustante ni corrosiva. Se comprobó que al reducir la alcalinidad por debajo de 160 mg CaCO<sub>3</sub>/L, el volumen de ácido diario para mantener este parámetro cerca de los niveles ideales era mucho menor que el inicial, llegando a ser de 1 a 2 L y no siendo necesaria su adición diaria, además, los valores de pH se hicieron más estables en el tiempo, aspecto éste que concuerda con lo referido en la bibliografía.<sup>10-13</sup>

Como se aprecia en la Tabla 1 los valores de pH en ambas etapas se mantuvieron dentro del intervalo recomendado para este método de tratamiento. Paralelamente los niveles de alcalinidad se comportaron de forma similar en ambos períodos y aunque estuvieron por encima del nivel ideal, resultaron adecuados para mantener un agua equilibrada.

Durante todo el período de estudio, por opinión general de los bañistas, se mantuvo una calidad organoléptica adecuada en el agua de la piscina, aspecto éste a destacar ya que en los sistemas que utilizan la cloración se forman las cloraminas que producen olor y sabor desagradable en el agua de las piscinas.

El color y la turbidez se mantuvieron en todo momento por debajo de lo que exige la norma, excepto en la etapa II (verano) en períodos en que se probó la menor dosis de alguicida correspondiente 0,5 g/m<sup>3</sup>, que unido a períodos de muy alta carga de bañistas, hizo necesario la utilización de sulfato de aluminio (como coagulante) en dosis de 5 g/m<sup>3</sup>, recuperándose rápidamente la calidad del agua, durante toda la etapa I no fue necesario añadir este reactivo.

En cuanto a los valores de dureza total referidos en la Tabla 1, se aprecia que en la etapa II existe una disminución con respecto a la etapa I, esto se puede explicar considerando que la etapa II es un período lluvioso y por infiltración existe una recuperación del manto freático y por disolución disminuye la concentración de sales en el agua subterránea. Los valores de ambos períodos coinciden con los niveles de dureza del agua de reposición, por lo que el volumen añadido fue suficiente para evitar que se incrementaran los niveles de sales disueltas en la piscina.

Los niveles de nitrato aunque aumentan un poco con respecto al agua de reposición, se mantuvieron en todo momento muy por debajo de la concentración máxima admisible.

Tabla 1. Valores promedios de los parámetros medidos en las dos etapas de estudio

Parámetros físico-químicos	Unidades	Ideal aguas de piscina		Valores mín.-máx.		
			Etapas I	Etapas I	Etapas II	
Temperatura	°C	± 25	25	20-29	31	27-34
Olor		No detect.	No detect.	-	No detect.	-
Sabor		No detect.	No detect.	-	No detect.	-
Color	Unid. Pt-Co	< 5	< 5	0-5	< 5	0-5
Turbidez	UT	< 5	0,67	0,34-1,35	1	0,67-1,69
pH		7,2-8,2*	-	7,1-8,1	-	7,1-8,0
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	80-100	148	132-262	142	115-283
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	200-400	514	442-585	381	211-557
Bromo libre residual	mg/L	**	0,45	0-1,13	0,23	0-0,68
Nitrato	mg/L	< 20	3,6	1,55-5,32	3,0	1,82-3,46
Nitrógeno amoniacal	mg/L	< 0,5	0,46	0,08-1,37	0,37	0,11-0,79
Cobre	mg/L	***	0,25	0,14-0,41	0,29	0,12-0,53
Agua de reposición diaria	% volumen piscina	5-10	3,8	1,3-7,5	4,8	3,1-7,9

\* Recomendados para sistemas que empleen como desinfectante el bromo libre residual

\*\* No existe uniformidad de criterio en la literatura en cuanto al valor ideal de bromo libre residual

\*\*\* No existe uniformidad de criterio en la literatura en cuanto al valor ideal de cobre

En cuanto al nitrógeno amoniacal, se apreció que el sistema de tratamiento es capaz de mantener este parámetro por debajo de la concentración máxima admisible como se aprecia en la Tabla 1 en ambas etapas, a pesar de que se detectó que el agua de reposición presentó concentraciones de amonio superiores a la norma además del aporte inevitable de los bañistas que aportan niveles significativos de amonio, lo que de muestra la efectividad del tratamiento.

Por las características del clima tropical, la temperatura del agua de la piscina y la incidencia del sol fundamentalmente en los meses de verano, se enfatizó en la determinación de la dosis de alguicida mínima que mantuviera la calidad del agua. Para esto se obtuvieron las concentraciones de cobre en el agua de la piscina para diferentes dosis de sulfato de cobre, comprobándose que en la etapa I es suficiente una dosis de sulfato de cobre de 0,5 g/m<sup>3</sup> y en la etapa II una dosis de 1 g/m<sup>3</sup>.

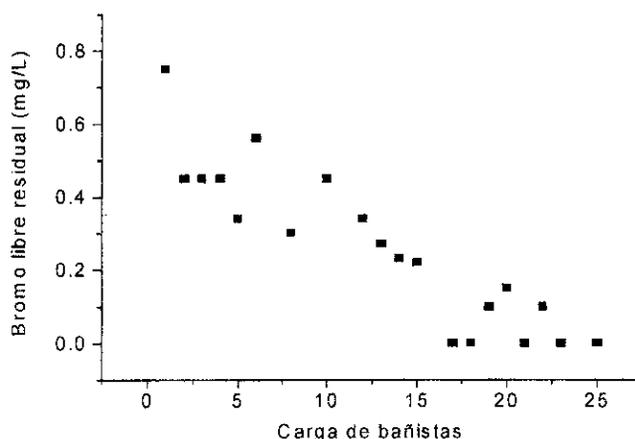
La cantidad de agua de reposición diaria en ambas etapas estuvo por debajo de la norma de piscina, pero fue suficiente para mantener la calidad del agua, por lo que se disminuye su consumo, factor importante en la actualidad dada su escasez y carestía.

Los niveles de bromo libre residual en las dos etapas fueron suficientes para mantener la desinfección requerida, lo que se demuestra en los resultados de los análisis microbiológicos realizados al agua de la piscina en ambos períodos como se aprecia en la Tabla 3. En la etapa II disminuyen los niveles de bromo libre residual debido entre otros factores al considerable aumento de la carga de bañistas, tendencia que se observa en la Tabla 2, además al incremento notable de la temperatura del agua de la piscina, lo que afecta la solubilidad del ozono en el agua y a la fuerte incidencia del sol en esta etapa.

Para la confección de la Tabla 2 se promediaron los valores diarios del bromo residual en dos horarios del tratamiento durante varias semanas con similar número de bañistas, reflejando estos datos para tres niveles de carga de bañistas. La carga de bañista máxima fue definida por la norma cubana de piscina<sup>2</sup> (establece un bañista por cada 2,2 m<sup>2</sup>).

**Tabla 2.** Valores promedio de bromo libre residual (mg/L) durante la semana para diferentes cargas de bañistas

Horario	Carga de bañistas					
	Baja (0-5 bañistas)		Media (5-15 bañistas)		Alta (> 15 bañistas)	
	12:00 m	4:00 p.m.	12:00 m	4:00 p.m.	12:00 m	4:00 p.m.
Lunes	0,40	0,64	0,34	0,45	0,20	0,12
Martes	0,40	0,61	0,34	0,27	0,23	0,12
Miércoles	0,41	0,68	0,23	0,41	0,23	0,10
Jueves	0,41	0,65	0,27	0,34	0,12	0,17
Viernes	0,37	0,48	0,23	0,27	0,10	0,17



**Fig. 2.** Efecto de la carga de bañista en la concentración bromo libre residual

De igual modo, la referida tendencia a la disminución del bromo libre residual en el agua de la piscina por el aumento del número de bañistas se aprecia claramente en la Figura 2, donde se observa que el bromo libre residual disminuye a concentraciones muy bajas cuando se sobrepasa el número máximo de bañistas permitidos por la norma cubana,<sup>2</sup> que en el caso de la piscina en estudio es de 15 bañistas al mismo tiempo dentro del agua, por lo que se recomienda que en esta etapa se tenga un mayor control sobre el número de bañistas.

Es necesario destacar que las muestras fueron tomadas a 30 cm de profundidad, ya que se comprobó que a mayores profundidades las concentraciones de bromo libre residual eran mucho mayores, debido a que el agua tratada que tiene altos niveles de este desinfectante, entra a la piscina por boquillas ubicadas en el fondo. Este aspecto garantiza el resultado del tratamiento del agua.

**Resultados de los análisis microbiológicos**

Como se observa en la Tabla 3 en ambas etapas tanto en los cinco puntos de la piscina como en el punto final

del tratamiento, se mantienen los parámetros permitidos de organismos indicadores que regulan las normas cubana y alemana para aguas de piscina. El tratamiento disminuye a valores mínimos los organismos indicadores como se observa en el punto 6, por lo que estos resultados altamente satisfactorios demuestran la eficiencia del sistema.

La evaluación de la eficiencia promedio del sistema de contacto gas líquido resultó entre un 82 % y un 78 % en 36 mediciones realizadas a lo largo del estudio. Estos valores son aceptables dado el diseño del sistema de contacto empleado, el cual está desprovisto de agitadores y/o dispersores de gas.<sup>18</sup>

El agua de la piscina se mantuvo libre de algas, cumplió con la norma de la prueba de la transparencia,<sup>2</sup> así como, la calidad físico química y microbiológica del agua se garantizó durante todo el estudio, las características organolépticas fueron muy satisfactorias. Se mantuvo el agua en la piscina sin necesidad de vaciarla por más de 6 meses, en que se decidió vaciarla por el propio desarrollo del estudio (cambio de etapa).

Tabla 3. Resultados de los análisis microbiológicos realizados durante las etapas I y II

Puntos de muestreo	Organismos indicadores								
	Heterót. totales		Coliformes totales		Coliformes fecales		<i>Pseudomonas</i>		
	UFC/mL		NMP/100mL		NMP/100mL + Indol		UFC/100mL		
	$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		$\bar{X}$		
	Etapas I	Etapas II	Etapas I	Etapas II	Etapas I	Etapas II	Etapas I	Etapas II	
Piscina	1	3,8	39	< 1	0	0	0	0	0
	2	10,8	29	0	0	0	0	0	0
	3	5,4	41	0	0	0	0	0	0
	4	5,4	28	< 1	1	0	0	0	0
	5	7,9	132	0	13	0	0	0	0
Salida tanque de contacto	6	1,5	15	0	0	0	0	0	0

### Estimado económico para el método ozono/ion bromuro

Para la estimación el costo de operación se tomó como base de cálculo: una piscina de 500 m<sup>3</sup> y un año de tratamiento.

#### Costo de Inversión<sup>19</sup>

Ozonizador:	40 000 USD
Compresor:	5 000 USD
<b>Total</b>	<b>45 000 USD</b>

#### Costo de operación anual

Mantenimiento:	900 USD
Depreciación:	3 000 USD
Costo de electricidad:	5 514 USD
Costo de reactivos:	1 352 USD
Costo de agua de reposición:	4 380 USD
<b>Total:</b>	<b>15 146 USD</b>

A partir de estos resultados el costo del tratamiento para un tiempo de recirculación del agua de la piscina de 8 horas oscila en unos 0,07 USD/m<sup>3</sup> de agua.

### Comparación económica entre el método ozono/ion bromuro y el método de cloración

Se tomó como base de cálculo una piscina de 500 m<sup>3</sup> y 6 meses de tratamiento correspondiente a la etapa de verano.

En la Tabla 4 se presentan los costos de tratamiento para cuatro alternativas de presentación del cloro, obtenidos de los resultados de un estudio<sup>20</sup> realizado en una piscina tratada con cloro, donde se garantizó la calidad del agua.

Se puede apreciar en esta comparación económica entre el método ozono/ion bromuro y la cloración que tiene en cuenta el consumo y costo de reactivos, electricidad y del agua de reposición, que el primero es más ventajoso ya que es como mínimo 1,5 veces más económico, llegando a ser para algunas alternativas hasta cuatro veces.

Por otra parte, el costo eléctrico por el ozonizador, el compresor y bombas oscila en los 5 514 USD/año y el costo eléctrico por bombeo durante las horas de tratamiento con ozono (10 horas) resulta de unos 3 810 USD/año. Paralelamente la duración del bombeo por cloración es mucho mayor, alcanzando valores de hasta 20 horas en el día, por lo que con bombas similares, el costo eléctrico por bombeo se compensaría. Esta reducción del tiempo de bombeo diario, debido a la efectividad y rapidez del tratamiento, lo indica la experiencia obtenida en este estudio y lo reportado en la bibliografía.<sup>8</sup>

### Comparación entre los costos de reactivos de ambos métodos

Para que se pueda apreciar mejor la reducción de los costos de reactivos para 6 meses empleando el tratamiento de agua de piscina que se propone respecto a la cloración, se resume una comparación en la Tabla 5, tomando como alternativa el hipoclorito de sodio, que es una de la más empleada.

Se puede apreciar que el costo de reactivos consumidos es mucho menor en el tratamiento con ozono. Así como, el costo del bromuro de sodio

es alrededor de 474 USD junto a su estabilidad y fácil almacenamiento, compite con el costo del cloro estimado en unos 13 914 USD.

Si se analiza la recuperación de la inversión de la tecnología propuesta teniendo en cuenta la ganancia por concepto de ahorro de reactivos durante un año, se puede apreciar según los resultados de la Tabla 6, que empleando las alternativas más frecuentes el tiempo de recuperación de la inversión inicial es factible.

La eficiencia del HBrO como desinfectante es prácticamente independiente del pH del agua, no así la del HClO, por lo que el consumo de ácido para mantener el pH requerido es mucho menor con el tratamiento que se propone.

Por otra parte, si se parte de un análisis económico respecto al costo total de la inversión en divisas<sup>21</sup> (considerando los costos de construcción, montaje y equipamiento) de un hotel de 250 habitaciones con un valor de unos 6 900 000 USD, se puede plantear que el costo de la inversión para la ozonización representa un 0,6 % del mismo, muy por debajo de otras facilidades auxiliares como la climatización que está en el orden de un 15 %.

**Tabla 4.** Comparación económica entre el método ozono/ion bromuro y el método de cloración

	Precio unitario	Cloración		Ozono/ion bromuro	
		Consumo	Costo (USD)	Consumo	Costo (USD)
Alga stop	3,69 USD/L	130 L	480	-	-
CuSO <sub>4</sub>	5 USD/kg	-	-	12 kg	60
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,2 USD/kg	60 kg	12	30 kg	6
HCl	0,15 USD/kg	8 052 kg	1 208	1 321 kg	198
NaBr	10 USD/kg	-	-	47 kg	474
Electricidad	0,09 USD/kW-h	16 936 kW-h	1 524	30 633 kW-h	2 757
Agua reposición	1 USD/m <sup>3</sup>	2 555 m <sup>3</sup>	2 555	2 190 m <sup>3</sup>	2 190
I-NaClO	0,72 USD/L	12 078 L	13 914*		
II-Acido tricloro Isocianúrico:					
a) Granulado	5,8 USD/kg	1 098 kg	6 368		
b) Tabletas:	4,25 USD/kg	1 098 kg	4 666		
III-ClO <sub>2</sub>					
	3,68 USD/L	5 490 L	20 203		
<b>Total I</b>			<b>18 485</b>		
<b>Total IIa)</b>			<b>10 939</b>		
<b>Total IIb)</b>			<b>9 237</b>		
<b>Total III</b>			<b>24 724</b>		
<b>Total O<sub>3</sub>/Br<sup>-</sup></b>					<b>5 685</b>

\*Se incluyó el costo por transportación, que representa el 60 % del costo del NaClO

**Tabla 5.** Comparación entre los costos de reactivos de ambos métodos

Ozono/ion bromuro		Cloro	
Costo del bromuro de sodio:	474 USD	Costo del NaClO:	13 914 USD
Costo de otros reactivos:	258 USD	Costo de otros reactivos:	2 164 USD
<b>Total:</b>	<b>732 USD</b>	<b>Total:</b>	<b>16 078 USD</b>

**Tabla 6.** Análisis de la recuperación de la inversión inicial

Alternativa	Ahorro (USD)/año	Tiempo de recuperación de la inversión (años)
NaClO (con transporte)	29 752	1,5
NaClO (sin transporte)	19 316	2,3
Acido Tricloro Isoc. (tabletas)	11 265	4,0

Para ilustrar mejor, si se tiene en cuenta, que el costo total en divisas de una habitación está en el orden de los 27 600 USD y considerando que durante el proceso inversionista y proyecto se decide introducir el tratamiento con ozono, el incremento del costo por habitación sería de unos 180 USD.

Por supuesto conjuntamente al análisis económico está la indiscutible alta calidad del agua tratada que se obtiene, lo cual es una garantía de salud y atracción para los bañistas.

## CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento con ozono permitió bajo las condiciones de operación evaluadas obtener un agua de alta calidad físico-química y microbiológica, garantizando un agua estéticamente agradable, segura sin riesgos para la salud durante un año de estudio.

Se recomienda una dosis aplicada de ozono entre 2 y 3 g/m<sup>3</sup>, así como una dosis inicial de NaBr entre 10 y 20 g/m<sup>3</sup>. La dosis de CuSO<sub>4</sub> recomen-

dada en la etapa de invierno es de 0,5 g/m<sup>3</sup> y etapa de verano 1 g/m<sup>3</sup>. En caso de necesidad de emplear Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, será suficiente una dosis de 5 g/m<sup>3</sup>. El volumen diario de HCl necesario en el control del pH y la alcalinidad results ser de 1-2 litros.

Se cuenta con la posibilidad de introducir y extender una tecnología novedosa de tratamiento de agua con ozono para piscinas, en las instalaciones turísticas de nuestro país y de la región. La introducción de esta tecnología en Cuba constituye una expe-

riencia de gran novedad dada nuestras condiciones climáticas.

Se aprecia una reducción notable de reactivos en cuanto a cantidad y variedad, lo que posibilita reducir los costos de operación. Además un tiempo de recuperación de la inversión factible.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Norma DIN Standard alemana 19 643/1982. Treatment and disinfection of the water of swimming pool and bath.
2. Comité Estatal de Normalización: N.C. 9304/1985. Piscinas, requisitos higiénicos sanitarios. Ciudad de La Habana, Cuba.
3. Rice R.G. Chemistries of ozone for pools and spa water treatment, Proceeding Ninth Ozone Word Congress 2, 390, New York, 1989.
4. Mood E.W. Public health principles and problems associated with the treatment of water in swimming pools and spas, Proceeding Ninth Ozone Word Congress, 2, 382, New York, 1989.
5. Pacik D. and Rice R.G. The hydrozon compact process. A new method for treatment and disinfection of swimming pools and bathing water. *Ozone Sci. and Eng.*, 13, 63, 1991.
6. Yamada H. and Somiya A. Basic study for application of ozone for swimming pools and spa treatment, Proceeding Ninth Ozone Word Congress, 2, 444, New York, 1989.
7. Tiefenbrunner F.H., Moll H.G., Grohmann A. and Eichelsdorfer D. Ozone treatment of small-size swimming pools and whirlpools, Proceeding Ninth Ozone Word Congress, 2, 454, New York, 1989.
8. Steinbruchel A., Rice R.G. and Spangenberg R. First year operation report of the corona discharge ozone swimming pool water treatment systems. *Ozone Sci. and Eng.*, 13, 463, 1991.
9. Nebel C. Ozone and pools. Proceeding Ninth Ozone Word Congress, 2, 475, New York, 1989.
10. Pool and SPA water chemistry a testing and treatment guide. Taylor Technologies., Inc. Sparks M.D. Maryland, 1994.
11. Manual técnico del agua. Degremont, Ed. 4th, 1979.
12. Morales H., Portela R. Consideraciones para el diseño y explotación de piscinas, Trabajo de Diploma, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 1993.
13. Información técnica de la Empresa de Proyectos EPROYIV, Ciudad de La Habana.
14. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, MINSAP, Ciudad de La Habana.
15. APHA, AWWA, WPCE, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16 th Ed. USA, 1985
16. APHA, AWWA, WPCE, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16 th Ed. USA, 1967
17. Dutka B.J. Methods for microbiological and toxicological analysis of waters, wastewaters and sediment. Ed. NWRJ, Canada, 1-32, 1989.
18. Masschelein W.J. Handbook of Ozone Technology and Appl. 1, Ed.R.G. Rice & A. Netze, 171-174, 1982.
19. Información de la firma francesa OZONIA, 1997.
20. Informe Técnico Hotel "La Pradera", Ciudad de La Habana, 1998.
21. Información técnica Inmobiliaria ALM-EST, Ciudad de La Habana, 1998.



# oz@ney

OZONIZADOR DOMESTICO  
Diseñado y construido en Cuba

## oz@ney

es un equipo empleado en el tratamiento de las aguas para uso doméstico que incluye: el agua para beber, el lavado de los alimentos que se ingieren crudos, la higiene personal, en el fregado de la vajilla y otros utensilios de cocina. Permite asegurar una total desinfección y contribuye a disminuir los malos olores que puedan existir en el local donde el ozonizador está instalado.

#### EFFECTIVIDAD

Se ha demostrado la gran efectividad del ozono en la destrucción de microorganismos tales como *E-coli*, quistes de *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, *Pseudomonas*, etc. los cuales pueden encontrarse con alguna frecuencia en el agua.

#### AHORRO

Para purificar 10 litros de agua con electricidad se consumen 1.02 kW/h  
Con un ozonizador se consumen 0.001 kW/h

#### CONTACTENOS

Centro de Investigaciones del Ozono  
Calle 230, esq. 15, Siboney, Apartado 6880, Ciudad de La Habana,  
C.P. 10 600, Cuba  
Teléfonos: (537) 21-0588, 21-2089; Fax: (537) 21-0233, 33-0497  
E-mail: [ozono@infomed.sld.cu](mailto:ozono@infomed.sld.cu)