

artículo original

Medida de la concentración del ozono en agua en dosis bajas.

Carlos Fernández Yoldi

I+D Ingeniero, Healthcare-Ozone, Sedecal

Óscar Hidalgo

Director Internacional, Línea Healthcare-Ozone, Sedecal

José Francisco Ramos

Ventas Spain, Healthcare-Ozone, Sedecal

Roberto Sánchez

Ingeniero de Software, Healthcare-Ozone, Sedecal

Palabras clave

*Ozonizado de agua.
Solución Salina
Ozonizada.
Autohemoterapia
mayor.
Ley de Henry*

Resumen

Una de las técnicas utilizadas para transferir ozono a un paciente consiste en burbujear ozono a bajas concentraciones en una solución salina e inyectar ésta al paciente. A continuación, se analiza la eficiencia de la técnica señalada en cuanto a la dosis de ozono que finalmente se transfiere al paciente por vía intravenosa.

Para el estudio procedemos a burbujear ozono en distintas concentraciones normalizadas en un depósito con solución salina y luego hacemos pasar ésta por un analizador de concentración de ozono en líquidos que nos indique el ozono que ha quedado retenido en la solución. También se comparó esta cantidad de ozono disuelto con la que se disuelve, en las mismas condiciones, en agua destilada y desionizada.

Tras 10 min de burbujeo de ozono, quedó en el líquido (aproximadamente) un cuarto de la concentración programada (25%) lo que confirmó las recomendaciones del ISCO3. De esta manera el usuario puede conocer anticipadamente la dosis que será administrada al paciente mediante la utilización de esta técnica.

Sugerencia sobre cómo citar este artículo:

Fernández Yoldi, Carlos. (2019). Medida de la concentración de ozono en agua en dosis bajas. *Ozone Therapy Global Journal*. Vol. 9, nº 1, pp 61-73

Introducción

Una de las más estudiadas y seguras rutas de aplicación de ozono en pacientes es la autohemoterapia mayor.

Según el organismo ISCO3 [1] debe usarse un volumen de sangre entre 50 mL y 100 mL, evitando superar los 200 mL para no comprometer la estabilidad hemodinámica del paciente. La concentración de ozono debe encontrarse entre 10 mg/L y 40 mg/L (lo que implica una dosis total de 1 mg a 4 mg en 100 mL), concentraciones superiores a 70 mg/L aumentan el riesgo de hemólisis y otros daños. El anticoagulante más aconsejable es el ACD-A (Anticoagulante solución de Citrato Dextrosa A) en volumen entre 7 mL y 10 mL por cada 100 mL de sangre. El ciclo de sesiones varía entre 15 y 20 aplicaciones.(1)

El problema de esta forma de aplicación estriba en la propia manipulación de la sangre del paciente, tratándose de un procedimiento laborioso y delicado. Además, debemos tener en cuenta la legislación vigente en cada país sobre manipulación de hemoderivados.

Una alternativa a esta aplicación es el ozonizado de solución salina y su posterior transfusión al paciente.

Según un estudio,[2] la introducción de ozono en una solución de NaCl al 0.9% no produce hipocloritos ni cloratos en cantidad apreciable, tan sólo se ve reducida la vida media del ozono disuelto, cuya descomposición sólo produce oxígeno.

En cualquier forma de preparación (ISCO3 sugiere tres modos) (1) las concentraciones administradas al paciente propuestas son de 1 µg/kg, 2 µg/kg y 5 µg/kg (lo que implica una dosis total de 75 µg, 150 µg y 375 µg respectivamente, para un paciente de 75 kg). Según la concentración de ozono utilizada para burbujear en un volumen de 250 mL de solución salina, debe ser para las situaciones indicadas:

- $C_1 = 75 \mu\text{g} / (250 \text{ mL} \cdot 25\%) = 1,2 \text{ mg/L}$
- $C_2 = 150 \mu\text{g} / (250 \text{ mL} \cdot 25\%) = 2,4 \text{ mg/L}$
- $C_3 = 375 \mu\text{g} / (250 \text{ mL} \cdot 25\%) = 6 \text{ mg/L}$

El objetivo del presente estudio fue determinar las concentraciones reales de ozono en solución salina, simulando las condiciones de su aplicación clínica y compararla con los valores teóricos pre establecidos.

Materiales y métodos

Para medir la cantidad total de ozono disuelto en la solución salina se procedió como se indica en el segundo método descrito en el boletín del ISCO3 [1], es decir, saturamos de ozono un volumen de 250 mL utilizando el sistema Bexen® para solución salina Bexozone®, se burbujeó con una concentración variable a un caudal de 12L/h durante 10 min y se midió inmediatamente la concentración de ozono dejando fluir la solución por gravedad.

El montaje del sistema experimental indicado en la Figura 1, corresponde con la imagen que se muestra en la Figura 2.

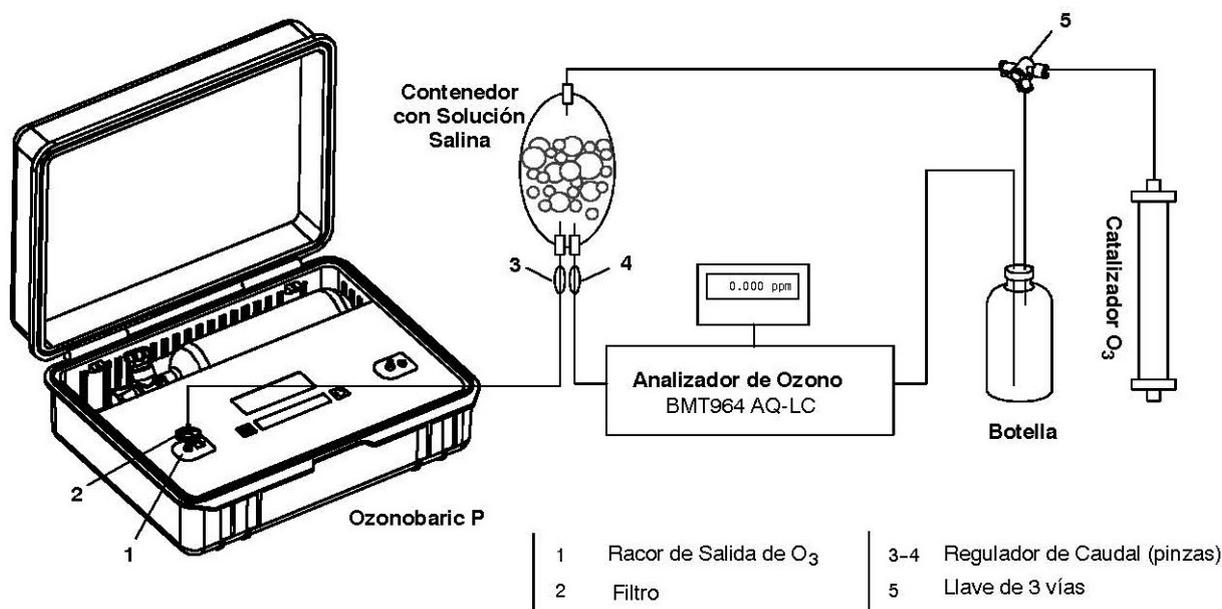


Figura 1. Esquema de conexionado de los elementos utilizados para el estudio.

Se midió primero la concentración de ozono en agua destilada sin ozonizar, luego se ozonizó con 2 mg/L normalizados, una segunda muestra con 5 mg/L normalizados de gas. Luego se tomaron muestras de solución salina y se ozonizaron igualmente con (2 y 5) mg/L normalizados. Los datos se recogieron en modo de operación continuo, conectando el medidor (BMT964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, Alemania) a un ordenador por medio de un puerto serie. Se tuvo especial cuidado con los artefactos introducidos por burbujas (que fueron eliminados de los datos).

El procedimiento detallado fue el siguiente:

1. Primero se llenó el depósito de líquido, para ello:
 - a. Se cerró la pinza 3,
 - b. se conectó conectamos el tubo de la pinza 4 a una botella de agua destilada desionizada para un grupo de medidas y a una botella de solución salina estándar de 0,9 mg / 100 mL para las otras,
 - c. Se realizó vacío con una jeringa conectándola a la llave 5 de 3 vías (previa desconexión del catalizador) hasta tener el volumen deseado en el depósito (250 mL),
 - d. Se cerró la pinza 4,
 - e. Se conectó el tubo de la pinza 4 al analizador,
 - f. Se conectó la llave 5 al catalizador (con el paso abierto del depósito al catalizador).
2. Después, con la conexión mostrada la figura 2, se realizó el ozonizado del contenido en el depósito de la siguiente manera:
 - a. Se programó el Ozonobaric P® con la concentración deseada (0, 2 ó 5 mg/L), caudal de 12 L/h y tiempo 10 min,
 - b. Se abrió la pinza 3, el gas se burbujea en el líquido y el gas se burbujeó en el líquido y el gas sobrante se hizo pasar por el catalizador,
 - c. Una vez finalizado el proceso, se cerró la pinza 3,
 - d. Se cambió la llave 5 para conectar la botella de recogida de líquido al catalizador.
3. Se procedió inmediatamente a la medida de ozono en el líquido, para ello:
 - a. Se abrió la pinza 4 y se dejó fluir el líquido por gravedad,
 - b. Se midió de forma continuada cada segundo hasta que se vaciara el depósito.

Terminado el proceso, desechamos el líquido de la botella para repetir el procedimiento con otro volumen de líquido.

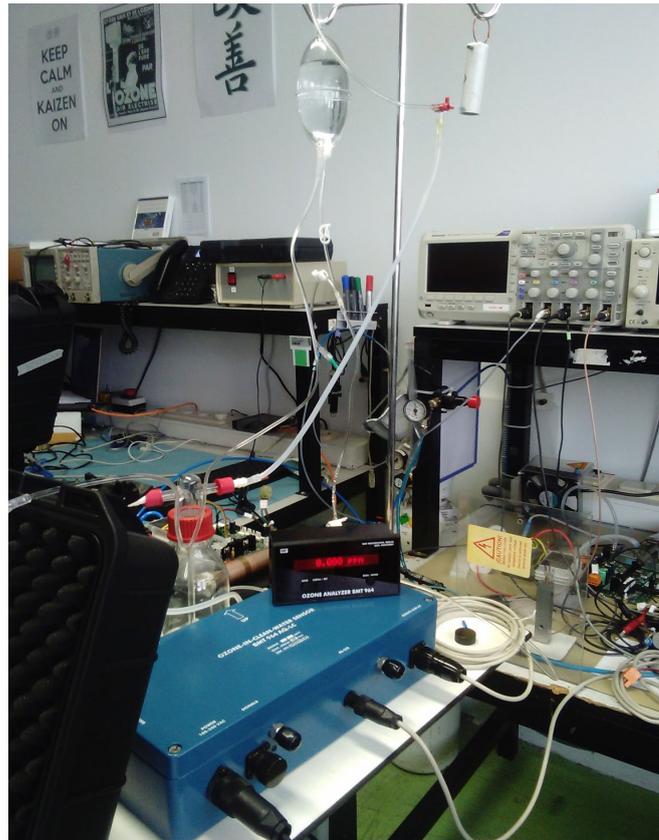


Figura 2. Imagen del montaje utilizado para el estudio.

Como equipos de generación y medida se empleó un generador de ozono Ozonobaric P® de la empresa Sedecal®, y un medidor de concentración de ozono para líquidos de la empresa alemana (BMT 964 AQ-LC, Messtechnik GmbH, Alemania) con detector de ultravioleta, intervalo de detección entre 0,5 a 15 g/m³ y precisión de 0,5%.

Las mediciones fueron realizadas por triplicado para cada medio (agua y solución salina) y para cada una de las condiciones estudiadas sin ozonizar u ozonizando a (2 o 5) mg/mL. Los valores del comportamiento cinético fueron representados y calculados eliminando la interferencia de base. Se calculó desde el punto de vista teórico y con los datos, el porcentaje de concentración de ozono retenido en las soluciones. Estos valores fueron comparados con los referidos para el método de administración de solución salina ozonizada.

Resultados

Los resultados de las mediciones de la concentración de ozono en las diferentes soluciones se representan en la Figura 3. El resultado del cálculo de los valores de concentraciones eliminando los valores del blanco (valor de concentración determinado en las soluciones no ozonizadas) se muestran en la Tabla 1.

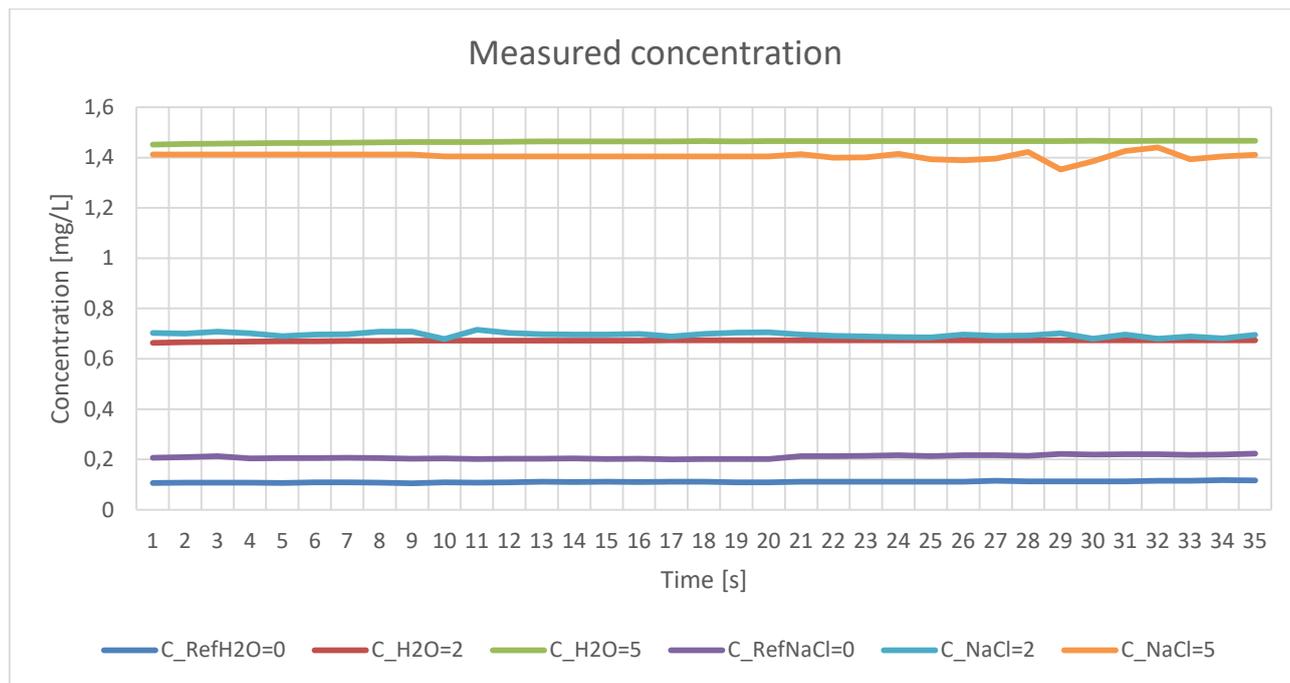


Figura 3. Cinética del comportamiento de las concentraciones de ozono en cada una de las condiciones analizadas.

C_RefH2O=0: medida de referencia de agua destilada, desionizada sin ozono.

C_H2O=2: medida de agua destilada, desionizada ozonizada con 2 mg/L.

C_H2O=5: medida de agua destilada, desionizada ozonizada con 5 mg/L.

C_RefNaCl=0: medida de referencia de solución salina sin ozono.

C_NaCl=2: medida de solución salina ozonizada con 2 mg/L.

C_NaCl=5: medida de solución salina ozonizada con 5 mg/L.

Tabla 1. Valores de concentración media de ozono restando los valores de los blancos de las correspondientes soluciones no ozonizadas.

Concentración normalizada aplicada en gas	Concentración normalizada medida en H ₂ O	Concentración normalizada medida en solución salina 0,9 % NaCl
2 mg/L	0,56 mg/L	0,49 mg/L
5 mg/L	1,35 mg/L	1,20 mg/L

Discusión

Son varios los factores que afectan a la velocidad de transferencia de ozono al líquido, pero, tras un tiempo determinado y manteniendo el líquido cubierto por una capa de gas a concentración constante, se puede considerar alcanzado un equilibrio en el que la cantidad de ozono disuelto es igual a la cantidad de ozono que se desprende. Mediante un burbujeado con aguja, podríamos considerar alcanzado el equilibrio tras 15 min [6] si bien 10 min es lo que recomienda el ISCO3 [1] y estaría suficientemente cerca del equilibrio.

En situación de equilibrio podemos considerar la Ley de Henry para calcular la cantidad de ozono disuelto en el agua:

$$H = C_a/P_r \text{ [mol/m}^3\text{/Pa]} \quad (\text{Ec. 1})$$

C_a : concentración en fase líquida [mol/m³]

P_r : presión parcial del gas en equilibrio [Pa]

La presión parcial del ozono viene dada por:

$$P_r = C_g \cdot R \cdot T \quad (\text{Ec. 2})$$

C_g : concentración en el gas [mol/m³]

el parámetro más consensuado para el ozono es [4]:

$$H_c = 0,00011 \text{ mol/m}^3\text{/Pa @ } T_c = 298.15 \text{ K}$$

Este parámetro es muy sensible con la temperatura, pero sigue la ecuación de van't Hoff [4]:

$$H(T) = H_c \cdot \exp(d \ln H/d(1/T)) \cdot (1/T - 1/T_c)$$

donde [4]:

$$d \ln H/d (1/T) = 2400 \text{ K}$$

si bien, para los cálculos se considerará directamente la temperatura de trabajo 298,15 K.

El sistema de medida proporciona los datos en condiciones normalizadas a:

$$P_0 = 1013,25 \text{ h Pa}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K}$$

por lo que para calcular la concentración a temperatura ambiente:

$$P_c = 950 \text{ hPa}$$

$$T_c = 298,15 \text{ K}$$

según la ecuación:

$$C_{gc} = C_{g0} \cdot T_0/T_c \cdot P_c/P_0 = C_{g0} \cdot 0,977 \quad (\text{Ec. 3})$$

Tomando en cuenta estas ecuaciones se puede obtener finalmente la concentración de ozono resultante en el líquido (C_a) en función de la concentración del ozono normalizado (C_{g0}) en el gas:

$$C_a = C_{g0} \cdot 0,977 \cdot 0,011 \cdot 0,08314459848 \cdot 298,15 = C_{g0} \cdot 0,2664$$

Es decir, la solubilidad de la concentración de ozono es del 26,64% con respecto a la normalizada. Para tener una referencia coherente se considerará la concentración en el líquido también normalizada, es decir:

$$C_{a0} = C_a \cdot T_c/T_0 \cdot P_0/P_c = C_a/0,977$$

Con lo que finalmente queda:

$$C_{a0} = C_{g0} \cdot 0,272685$$

que indica una solubilidad del 27,27%. Los valores se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Valores teóricos de las concentraciones de ozono disueltas en los líquidos.

Concentración normalizada aplicada en gas	Concentración aplicada en gas a 950 hPa y 25° C	Concentración teórica disuelta en H2O a 950 hPa y 25° C	Concentración teórica normalizada disuelta en H2O
2 mg/L*	1,95 mg/L	0,53 mg/L	0,55 mg/L*
5 mg/L*	4,9 mg/L	1,33 mg/L	1,36 mg/L*
15 mg/L*	14,7 mg/L	4,00 mg/L	4,1 mg/L*
40 mg/L*	39,1 mg/L	10,7 mg/L	10,9 mg/L*
60 mg/L*	58,6 mg/L	16,0 mg/L	16,4 mg/L*
80 mg/L*	78,2 mg/L	21,3 mg/L	21,8 mg/L*

Leyenda: * Concentración de ozono normalizada.

No se consideró que la presencia de sales en el agua, generalmente, disminuye la solubilidad según la ecuación de Sechenov [4]:

$$\log (H_0/H) = k \cdot b$$

pero la documentación sobre estos coeficientes es escasa.

Tomando los datos medidos reales de la Tabla 1 y comparando con los resultados teóricos de la Tabla 2 puede verse que la desviación entre ellos es acorde con los razonamientos teóricos presentados (Tabla 3).

Tabla 3. Desviación entre las medidas y los resultados teóricos.

Concentración normalizada aplicada en gas	Desviación de la concentración en H2O (medida – teórica)	Desviación de la concentración en Solución Salina 0,9% NaCl (medida – teórica)
2 mg/L	+0,01 mg/L => +1,8%	-0,06 mg/L => -11%
5 mg/L	-0,01 mg/L => -0,7%	-0,16 mg/L => -12%

Tomando nuevamente la Tabla 1 y presentando los datos medidos en porcentaje respecto a la concentración de gas introducida, se puede valorar la cantidad de ozono real absorbida por los líquidos.

Tabla 4. Relación en porcentaje entre el ozono burbujeado y el disuelto.

Concentración normalizada aplicada en gas	Concentración normalizada medida en H2O en %	Concentración normalizada medida en solución salina 0,9 % NaCl en %
2 mg/L	28 %	24,5 %
5 mg/L	27 %	24 %

Conclusión

Como conclusión, la aproximación del 25% presentada por el ISCO3 [1] para calcular la cantidad de ozono que se disuelve en el agua, está en línea con los cálculos y medidas realizadas y puede considerarse correcta.

Agradecimientos:

Andreas Scholz (BMT MESSTECHNIK GMBH, por el préstamo del sistema de medida).

Sonsoles García (Redactor Técnico, SEDECAL).

Conflicto de intereses:

Los autores del presente trabajo están afiliados a la empresa SEDECAL, productora de generadores de ozono médico.

Bibliografía

- [1] ISCO3 (International Scientific Committee of Ozone Therapy): Declaración de Madrid sobre la Ozonoterapia (2ª Edición), 12 junio 2015.
- [2] S. D. Razumovskii, M. L. Konstantinova, T. V. Grinevich, G. V. Korovina, and V. Ya. Zaitsev: Mechanism and Kinetics of the Reaction of Ozone with Sodium Chloride in Aqueous Solutions. January 25, 2010.
- [3] Egorova, G & A. Voblikova, V & V. Sabitova, L & Tkachenko, I & N. Tkachenko, S & V. Lunin: Ozone Solubility in Water. November 13, 2013.
- [4] Rolf Sander: Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. April 30, 2015.
- [5] Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink: Ozone in Water Treatment Application and Engineering. 1991.
- [6] Melicia Cintia Galdeano, Allan Eduardo Wilhelm, Isabella Borges Goulart, Renata Valeriano Tonon, Otniel Freitas-Silva, Rogério Germani, Davy William Hidalgo Chávez: Effect of water temperature and pH on the concentration and time of ozone saturation. September 18, 2017.