

# DESINFECCION ELECTROLITICA DE AGUA

Gonzalo A. Ordoñez<sup>29</sup>

## RESUMEN

*Se discute el procedimiento, los fundamentos, ventajas y desventajas de la desinfección electrolítica del agua, así como los resultados de su instalación en Honduras. Se mencionan entre las ventajas, la alta efectividad como desinfectante y oxidante, lo cual permite la destrucción de microorganismos patógenos causantes de las enfermedades diarreicas y su menor costo de operación, al compararlo con los métodos de desinfección usuales. Entre las desventajas están la necesidad de energía eléctrica y que la operación y mantenimiento son un poco más complejas. Se concluye que la mogaación es ahora una alternativa perfectamente viable para la desinfección.*

## ANTECEDENTES

El agua, en estado natural, contiene por lo general numerosos microorganismos como bacterias, virus, protozoos, helmintos y hongos, que al ser ingeridos por el ser humano, o ponerse en contacto con su cuerpo, pueden causar enfermedades.

Una de las dolencias más graves que vehicula el agua es el Cólera, de lamentable vigencia actual en el continente americano. Es transmitida por una bacteria, el *Vibrio Cholerae*, que se aloja en el intestino humano y allí libera una toxina cuyo efecto es trastornar el normal intercambio de líquidos, con lo que la absorción se minimiza y la eliminación aumenta grandemente, a tal punto que a veces el enfermo excreta un litro o más de agua por hora en las heces. Tal desequilibrio, si no se trata, conducirá en 5 de cada 10 casos a la muerte, por espesamiento de la sangre y por otros efectos. Si se cura adecuadamente, la mortalidad se reduce alrededor de 1%. El tratamiento se basa en reemplazar continuamente los líquidos perdidos y ello se hace por vía oral (solución de suero oral) o por vía intravenosa.

Para el Cólera, lo más eficaz a la larga, es la prevención mediante dotación de agua potable y sistemas adecuados de eliminación de excretas, y la enseñanza de hábitos higiénicos a la población. Por tanto, uno de los principios básicos de potabilización del agua para consumo humano, es la desinfección que permite eliminar los microorganismos, patógenos o no.

Hay muchos métodos para esto, desde la ebullición hasta los rayos ultravioleta, pero lo que más se utiliza en los sistemas de abastecimiento es la adición de cloro o compuestos clorados. El cloro, por ejemplo, inutiliza ciertos sistemas enzimáticos esenciales para la vida de las bacterias, y tiene acción en mayor o menor grado, sobre otros microorganismos.

El cloro o sus compuestos se introducen en el agua a desinfectar, mediante dispositivos como cloradores de gas e hipocloradores (que usan por lo regular hipoclorito de calcio), métodos estos que tienen en común el hecho de que tales sustancias químicas deben ser transportadas continuamente al lugar de aplicación. Existe, sin embargo, la opción de generar o producir el cloro directamente en el sitio de utilización y es sobre tal opción que versará el presente trabajo.

El método que se emplea para ello se conoce generalmente con el apelativo de

<sup>29</sup> Organización Panamericana para la Salud/  
Organización Mundial de la Salud OPS/OMS en  
Honduras. Apartado postal 728 Tegucigalpa D C,  
Honduras

MOGGOD, sigla en inglés de "Mix of Oxidant Gases Generated on site for Desinfection", es decir, "Mezcla de gases oxidantes generados en sitio para desinfección". El procedimiento suele denominarse también "Ozonocloración", y el autor de este documento, propuso recientemente en una conferencia internacional, que al producto del proceso se le diera el nombre de MOGS, derivado de "Mezcla de Oxidantes Generados en Sitio", que sirve también en inglés. Al proceso entonces podría llamársele "mogsación", por analogía con "cloración".

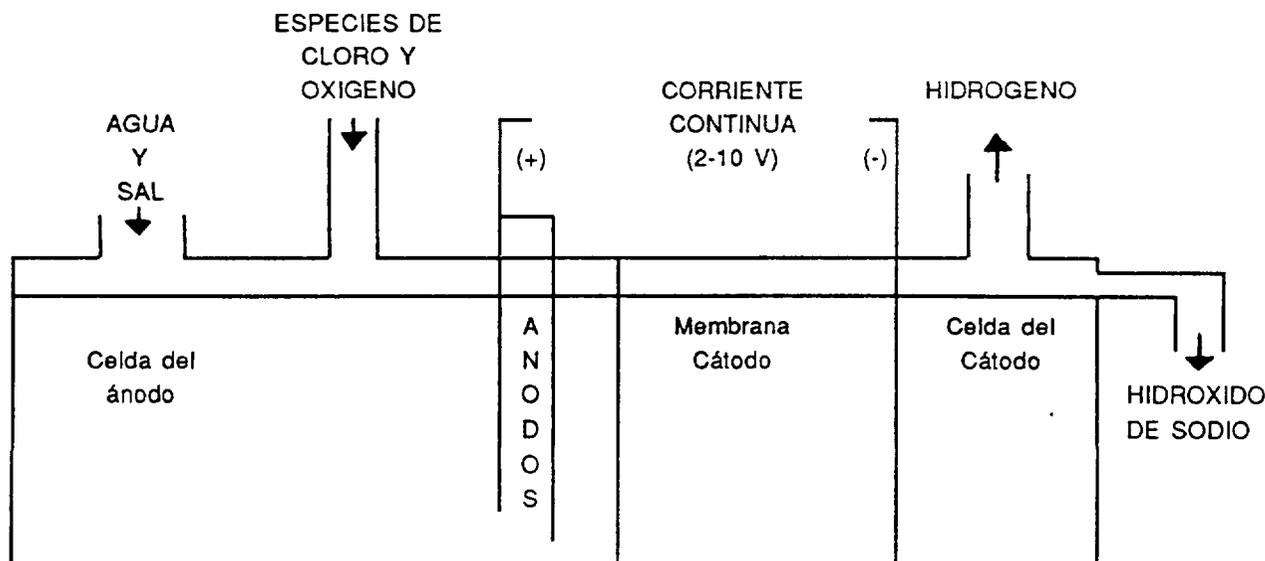
### FUNDAMENTOS DEL PROCESO MOGGOD

Industrialmente el cloro gaseoso se prepara mediante la electrólisis de una solución de cloruro de sodio (sal común). El proceso moggod tiene el mismo fundamento. Se usa un recipiente cerrado o caja dividido en dos compartimientos o cámaras, entre los cuales hay una membrana semipermeable. Una de

las cámaras es la celda del ánodo, es decir del electrodo positivo, y la otra es la celda del cátodo, o sea del electrodo negativo. En la celda anódica se pone una solución saturada de cloruro de sodio (salmuera; más o menos 33% de sal), y en la catódica se pone inicialmente sólo agua (aunque a veces se recomienda que sea una solución diluida de hidróxido de sodio (sosa cáustica o "lejía"). Los electrodos se conectan a una fuente de corriente eléctrica continua o directa, y así se inicia la electrólisis. Al moverse los electrones a través de la solución de cloruro de sodio, provocan el traslado de los iones de cloro hacia el ánodo y de los iones de sodio hacia el cátodo. El cloro se descarga en el ánodo y el aire sobre la salmuera, dentro de la celda del ánodo; el sodio pasa a través de la membrana y reacciona en el cátodo, generando hidróxido de sodio, que se disuelve en el agua de la celda catódica y se va desechando. En el cátodo además se produce hidrógeno. La membrana es especial, pues debe permitir el paso de los iones de sodio; pero impedir que las soluciones de ambas cámaras se mezclen. (Figura 1)

FIGURA 1

### ESQUEMA DE LA CELDA DE ELECTROLISIS PARA OBTENER LA MEZCLA DE GASES GENERADOS IN SITU PARA DESINFECCION (MOGGOD)



El moggod tiene, sin embargo, una característica adicional que lo hace aún más útil: origina no solamente cloro sino -por la naturaleza del fenómeno electrolítico- también ozono, oxígeno nascente o atómico, peróxido de hidrógeno y otros gases, a los cuales se les llama colectivamente "especies de oxígeno" (Cuadro 1). Las especies de oxígeno, junto con el cloro, forman precisamente la mezcla de gases oxidantes (a las que llamaremos mogs) que da nombre al método. Se ha determinado que esta mezcla es bastante más eficiente que el cloro puro, para efectos de desinfección de agua y ha encontrado aplicaciones más amplias. Como es muy ventajosa para la potabilización, se han diseñado disposiciones de ánodos múltiples que incrementan la proporción de ozono y especies de oxígeno en la mogs. Esta proporción puede estar en el orden de 30%.

La mogs se va acumulando en el aire de la celda catódica y de allí se extrae a fin de llevarla mediante un tubo al punto de inyección en el agua a desinfectar. El hidrógeno se ventila a la atmósfera. La mogs es sumamente oxidante o corrosiva, de modo que debe mantenerse bien controlada. La cantidad de mogs producida puede regularse modificando el amperaje de la corriente.

Como se deducirá, la mogsación tiene una enorme ventaja: evita la necesidad de importar permanentemente cilindros con cloro líquido o tambores con hipoclorito de calcio. Utiliza insumos locales -sal común y energía eléctrica-, los que además no deben transportarse al lugar de uso, ya que la generación es en sitio y la sal puede comprarse localmente.

### CUADRO 1

#### POTENCIAL DE OXIDACION Y CAPACIDAD DE OXIDACION RELATIVA DE DIVERSOS OXIDANTES POTENTES

ESPECIES OXIDANTES (1)	POTENCIAL DE OXIDACION	CAPACIDAD DE OXIDACION RELATIVA(2)
Flúor	2,87	2,25
Radical hidroxilo	2,80	2,05
Oxígeno atómico	2,42	1,78
Ozono	2,07	1,52
Peróxido de hidrógeno	1,77	1,30
Radical perhidroxilo	1,70	1,25
Permanganato	1,68	1,23
Acido hipocloroso	1,49	1,10
Cloro	1,36	1,00
Bromo	1,07	0,79
Yodo	0,54	0,40

(1) Con excepción del flúor, el permanganato, el bromo y el yodo, los demás están presentes en la mezcla de gases oxidantes generados *in situ* (MOGGOD)

(2) En comparación con la del cloro (1,00)

La inyección es un proceso de ingeniería hidráulica independiente del moggod. Se usa generalmente un inyector tipo venturi que, con suficiente pérdida de carga, crea un diferencial de presiones apto para aspirar la mogs e introducirla en el agua. Tal como ocurre con el cloro gaseoso, la mogs debe ser bien mezclada con el caudal a desinfectar y luego hay que permitir un tiempo de contacto de unos 20 ó 30 minutos.

## MATERIALES Y COMPONENTES

Se ha investigado y ensayado mucho sobre las características deseables para el moggod. Hasta el momento, la práctica más usual entre los fabricantes es la que damos a continuación:

- Caja: PVC moldeado o soldado
- Membrana: Copolímero preflorado (Nafión, marca de Dupont)
- Anodo: titanio, recubierto de óxido de iridio
- Cátodo: acero inoxidable

## Sal

En los primeros modelos se insistía en la necesidad de utilizar una sal muy pura, procedente de mina y no del mar, a fin de prolongar la vida útil de la membrana. En efecto, si la sal contiene menos de alrededor de 96% de cloruro de sodio, el resto (compuestos de calcio y magnesio y otros) va incrustando la membrana rápidamente y finalmente la destruye. Pero el uso de sal muy pura implicaba que probablemente había de ser importada, lo que neutralizaba una de las ventajas básicas del moggod. En la actualidad, sin embargo, se ha visto que con ciertas mejoras en el diseño del aparato, y particularmente, ampliando el área de la membrana para disminuir la carga unitaria sobre ella, resulta perfectamente factible utilizar cualquier sal de cocina, e inclusive directamente agua de mar. Naturalmente que en estas condiciones, la membrana durará menos (alrededor de 6 meses a 2 años), pero aún así, el proceso es muy rentable. En Honduras se puede conseguir la llamada "sal industrial", con más de 99% de cloruro de sodio, que resulta muy apropiada para la mogsación.

## Fuente de poder

Es un aparato auxiliar que provee la corriente eléctrica continua requerida por el moggod. Típicamente éste consume entre 10 y 20 amperios a entre 5 y 10 voltios, aunque dichos valores pueden variar en función del tipo de moggod y de la producción. Lo más común es que se utilice la corriente alterna de la red nacional o municipal de 110 voltios, que en la fuente de poder se transforma y rectifica. Si no hay energía de red es posible emplear energía fotovoltaica mediante paneles solares y baterías de almacenamiento. En Honduras existe la única instalación de este tipo en América Latina.

## Inyector

Suele ser un venturi moldeado en una pieza de plástico, y va conectado por un tubo de polietileno al moggod. Muchas veces se intercala en una derivación o by-pass de una línea por gravedad o bombeo, y puede requerir una pérdida de carga de unos 5 a 10 metros de columna de agua para garantizar una buena aspiración. Curiosamente, en numerosas instalaciones de moggods los mayores problemas han provenido del inyector.

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOGGOD

### Ventajas

- Utiliza elementos de producción nacional (sal y energía eléctrica), y así corta la importación continua de materiales como cloro gaseoso o hipoclorito, con el consiguiente ahorro de divisas.
- Tiene un menor costo de operación que los métodos usuales.
- Genera la mogs en sitio y por tanto minimiza el transporte de insumos sobre distancias a veces largas.
- Se elimina la necesidad de grandes almacenamientos de sustancias químicas peligrosas.

- La mogs tiene alta efectividad como desinfectante y oxidante, por la presencia de ozono y otras especies de oxígeno. Ello permite disminuir las dosis a aplicarse y aún así, lograr en gran medida la destrucción de microorganismos patógenos incluso resistentes al cloro, como ciertos quistes y organismos planctónicos. Además, mantiene un buen efecto biocida aunque la turbiedad sea de alrededor de 10 UNT, lo que lo hace ventajoso para desinfectar agua superficial.
- Disminuye la eventual generación de trihalometanos en aguas con color húmico, ya que el ozono contribuye a oxidar este color.
- Las especies de oxígeno reaccionan antes que el cloro con posibles contenidos orgánicos del agua, y entonces queda más cloro residual libre y mejora el sabor y el olor del agua.
- Los moggods se están demostrando como un buen complemento de desinfección para hospitales.

### **Desventajas**

- Se necesita que haya energía eléctrica en el lugar de aplicación (si bien existe la alternativa de medios fotovoltaicos o de microturbinas hidráulicas).
- La membrana tiene que ser cambiada periódicamente, cuando se haya incrustado y deje de servir. Con una operación cuidadosa la membrana puede durar arriba de un año. Eventualmente se deberá cambiar asimismo el ánodo, cuya duración se estima en uno o dos lustros.
- La operación y mantenimiento son un poco más complejos que la cloración o hipocloración y, no pueden descuidarse. Se ha demostrado sin embargo que, incluso con instalaciones de tipo fotovoltaico como la de Honduras, es perfectamente hacedero entrenar a gente de la propia localidad para que efectúen el manejo del sistema, bajo una adecuada supervisión.

- Por ahora la mogsación es apropiada sólo para abastecimientos de tamaño pequeño o pequeño-mediano, aunque se han hecho instalaciones con varios aparatos en paralelo. Los moggods más grandes, comercialmente disponibles, pueden dar servicio a poblaciones de hasta unos 15.000 habitantes en promedio.

### **BREVE HISTORIA DE LA MOGSACION**

Desde hace unas dos décadas se viene trabajando con los procesos de ozonocloración in situ. En 1982, la Organización Panamericana de la Salud y específicamente su consultor regional para desarrollo tecnológico, Ing. Fred Reiff, comenzaron a impulsar una amplia gama de investigaciones y aplicaciones de los moggods en el terreno, como un medio alternativo y promisorio de desinfección para pequeñas comunidades de América Latina. La intención fue obtener un procedimiento que pueda ayudar a disminuir el déficit de desinfección, que probablemente es de más del 70% de toda el agua distribuida para consumo humano.

En diciembre de 1986, la OPS con la ayuda financiera del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), entró en un programa de demostración en varios países, a los que se enviaron aparatos fabricados en Estados Unidos, a fin de que sean instalados y probados. Posteriormente, varios de los países han continuado esfuerzos y en México ya existe una línea propia de modelos moggod disponibles comercialmente.

En noviembre de 1991, se celebró en México, D.F. la Segunda Conferencia Internacional sobre moggods. Tal vez la conclusión más importante del evento fue que, la mogsación ha alcanzado la madurez suficiente como para que su uso se extienda con amplitud. Los costos de los aparatos también están bajando, y se investigan nuevos desarrollos que mejorarán la eficiencia y durabilidad de los dispositivos. En otras palabras, la mogsación es ahora una alternativa perfectamente viable para desinfección, al igual que lo son la cloración e hipocloración.

## LA INSTALACION MOGSADORA FOTOVOLTAICA EN HONDURAS

En Honduras, el primer moggod se comenzó a instalar a fines de 1989 en el municipio de Santa Ana. Este aparato usa energía de la red nacional. En marzo de 1990, se colocó un moggod más avanzado en la comunidad de El Volcán, cerca de Comayagua y la energía eléctrica proviene de paneles solares, ya que en el sitio no hay líneas de distribución. La instalación fue donada por el Gobierno de Estados Unidos, a través de los Laboratorios Sandía (Albuquerque, Nuevo México), y OPS/OMS ha colaborado con el Ministerio de Salud Pública para supervisar la operación y mantenimiento. Como ya se dijo antes, esta combinación de moggod y medios fotovoltaicos es hasta el momento la única que existe en América Latina. Otros

aparatos moggod, que usarán electricidad de la red nacional, se hallan en proceso de instalación. La operación y mantenimiento del mogsador fotovoltaico de El Volcán está a cargo de habitantes de la comunidad, que fueron capacitados adecuadamente. En el Cuadro 2 se muestran algunos datos sobre la calidad del agua con la instalación del moggod.

## NUEVOS DESARROLLOS

Una de las direcciones más interesantes de desarrollo es la de moggods sin membrana. Hay varias patentes para esto, pero en general, la idea al evitar la membrana es abaratar y simplificar el mantenimiento. Existe la posibilidad de que en 1992 se coloque uno de estos nuevos moggods en Honduras.

### CUADRO 2

## INSTALACION MOGGOD/FOTOVOLTAICA DE HONDURAS EL VOLCAN Algunos datos sobre calidad bacteriológica del agua de abastecimiento

CALIDAD BACTERIOLOGICA	26/3/90 (1)	27/3/90 (1)	15/5/90(2)	15/5/90(2)
Colonias/100 ml	0	0	3	100
Coliformes total/100 ml	0	0	30	100
Coliformes fecal/100 ml	0	0	20	80
Cloro Residual		0.1	0	0

(1) Moggod funcionando

(2) Moggod desconectado

Otra variante importante es la de las "dip-cells", que en español puede denominarse hipomogsación, por analogía con hipocloración. Se trata de un dispositivo formado por cátodo y ánodo, que se introducen en un tanque pequeño (unos 40 litros) con solución de sal al 3%. Se hace pasar corriente eléctrica de características similares a las de un moggod, y al cabo de unas 8 horas la solución contendrá hipoclorito de sodio al 0,6% aproximadamente (6.000 miligramos por litro). Tal solución se vierte entonces (por ejemplo mediante goteo) en el agua a desinfectar. Se espera que este año se instale un hipomogsador en Honduras. Dicho dispositivo puede ser muy útil en localidades pequeñas que dispongan de electricidad y de cualquier sal. La eficiencia del desinfectante, sin embargo, no es comparable a la de la mogs gaseosa.

### ALGUNOS DATOS EN CUANTO A COSTOS

En la actualidad un moggod para unos 5 miligramos por segundo de cloro, cuesta alrededor de US\$ 1.500, y uno para 10 mg/s tiene un precio de US\$ 2.000 (se incluye fuente de poder). Las dip-cells de 400 gramos de cloro, disponible en 7 horas cuestan unos US\$ 1.400. Hay moggods para casas, con producción de hasta 20 gramos por día, que cuestan unos US\$ 300. (Precios FOB, y aproximados).

Puede estimarse que 1 kg de cloruro de sodio produce 1,27 kg de mogs. Para descomponer 1 kg de cloruro de sodio se requiere alrededor de 6 kWh de electricidad.

En Honduras, actualmente, el costo de 1 kg. de mogs sería de unos 2,50 Lempiras (sólo sal y corriente eléctrica de red). (1US\$=L. 5,30).

El costo de membrana es del orden de US\$ 20 a US\$ 60 cada una según el tamaño (Precios FOB).

### OBSERVACIONES SOBRE OPERACION Y MANTENIMIENTO

Hay que cuidar que la sal siempre esté en exceso en la salmuera y que la solución de sosa cáustica no pase de alrededor de un 10% de concentración, para lo cual se añade agua según se requiera. A fin de controlar esto se puede usar un densímetro de baterías.

La membrana debe lavarse con ácido acético o vinagre cada mes. Esto es especialmente importante si el agua de la localidad, con la cual se disuelve la sal, es dura y/o contiene turbiedad. La membrana debe manipularse con cuidado, para no perforarla.

El moggod puede funcionar permanentemente las 24 horas del día, pero si el caso lo permite cabe encenderlo muy en la mañana y apagarlo en la noche. Si el sistema es por bombeo, conviene que se le encienda y apague junto con las bombas. Demora cerca de media hora para entrar en régimen normal de producción.

Si hay fuertes variaciones de voltaje, es mejor instalar un regulador a fin de que no se llegue a quemar la fuente de poder.

De haber varios moggods en paralelo cada uno deberá tener su propio venturi o inyector.

Lo ideal es que el moggod trabaje a menos de su capacidad nominal (tal vez 60% ó 70% de ella).

En sistemas por bombeo puede ocurrir que el inyector consuma 40% de la carga.

El moggod y la fuente de poder se deberían colocar en una pequeña caseta ad-hoc bien ventilada, en la que la fuente se halle encima y a unos 50 cm. del moggod. Si se pone el moggod cerca de equipos de bombeo, hay riesgo de que ocurra corrosión por la mogs.

Cabe instalar, si es necesario, un tanque externo de salmuera, del que ésta se conduzca por un tubo a la celda anódica.

Para disminuir el problema de la incrustación de la membrana, conviene adicionar cada día a la salmuera una cierta cantidad de agente quelante o secuestrador, por ejemplo hexametáfosfato de sodio, a razón de 1,25 gramos por litro.

La cantidad efectivamente generada de mogs se controla por ensayos de cloro residual en la red de distribución. Es usual considerar aceptable un residual mínimo de 0,2 miligramos por litro, si bien hay que hacer verificaciones bacteriológicas rutinarias.

Para localidades pequeñas, es básica la participación comunitaria en la operación y mantenimiento.

## BIBLIOGRAFIA

Brust, Héctor; Juárez, Jorge, et al. Evolución del equipo para desinfección del agua para consumo humano con base en pruebas de campo. Centro de Desarrollo y Aplicaciones Tecnológicas (CEDAT). Secretaría de Salud. México, D.F. noviembre 5 a 8, 1991.

Ordoñez Gonzalo A. Notas tomadas en la Segunda Conferencia Internacional sobre la desinfección del agua con una mezcla de oxidantes generados in situ. México, D.F. Noviembre 5 a 8, 1991.

Ordoñez, Gonzalo A. Utilización de la energía fotovoltaica en el campo para la activación de unidades moggod en comunidades de Honduras. Presentado en la Segunda Conferencia Internacional sobre la desinfección de agua con una mezcla de oxidantes generados in situ. México, D.F., Noviembre 5 a 8, 1991.

Reiff M. Desinfección del agua potable con una mezcla de gases oxidantes producidos in situ (MOGGOD), 1983 Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. 105(4), 1988.