

Activación electroquímica de soluciones acuosas (ECAS)

VLADIMIR VINOGRADOV

Gerente de Empresa de Ciencia y Producción Izumrud Ltd. (Rusia)

ANTONIO CUEVAS

Director Técnico en A.C.P. Cálculo y Diseño, S.L.

DMITRII VINOGRADOV

Manager de desarrollo de Aquaeca Izumrud, S.L.

Hace más de 20 años que en Rusia se inventó la tecnología de activación electroquímica del agua y soluciones acuosas de sal (ECAS). Esta tecnología ha encontrado aplicación exitosa en diversos campos, desde la medicina y la agricultura hasta la alimentación y la desinfección del agua potable. En este artículo le informamos brevemente acerca de esta tecnología innovadora.

La esencia de la tecnología de ECAS es que el agua está sometida a tratamiento electrolítico en una de las cámaras (ánodo o cátodo) de celda electroquímica. A través de la conversión de las sustancias disueltas que contiene, se convierte en una potente solución de ácidos y oxidantes, de álcalis y agentes reductores. La aplicación de las soluciones electroquímicamente activadas se debe principalmente a su actividad antimicrobiana y propiedades detergentes.

TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE LA SÍNTESIS DE LAS SOLUCIONES ELECTROQUÍMICAMENTE ACTIVADAS

Existen muchos equipos diferentes para la síntesis electroquímica de soluciones para diferentes aplicaciones. Se pueden dividir en dos grupos: aquellos con un diafragma entre los electrodos, y otros sin diafragma. A su vez, cada grupo está

representado por los equipos de dos tipos: unos de la síntesis continua (en flujo) y otros del principio periódico (cíclico). Todos los equipos llevan al menos una celda electroquímica con fuente de alimentación de CC. Además, pueden contener sistemas técnicos que mejoran la comodidad y fiabilidad: dispositivos de medición, reguladores de presión y flujo, bombas, tanques, filtros, dispositivos para ablandar el agua, para la preparación de salmuera, para el lavado de las líneas hidráulicas, para la recogida y neutralización de los gases de la electrólisis, de mantenimiento automático de corriente y tensión, de cortes de electricidad y de agua de emergencia, etc.

La tecnología de activación electroquímica de soluciones acuosas se basa en el proceso electrolítico a través de una membrana porosa de material cerámico, durante lo cual la solución de agua y NaCl se separan en dos flujos. Una corriente eléctrica entre dos polos de metal inerte actúa a través de la solución acuosa.

El resultado de tratamiento en la cámara de ánodo es la fracción anódica, que es un oxidante altamente eficaz a bajas concentraciones, al mismo tiempo que, debido a su eficacia a baja concentración, no resulta tóxico para la salud humana, la de los animales ni la de las plantas. Su ámbito de actuación se centra en la desinfección microbiológica.

La fracción catódica (el flujo separado por el polo negativo) posee propiedades reductoras, siendo un buen catalizador de reacciones químicas, formación de cristales, etc.

A nivel molecular, lo que ocurre es que el campo eléctrico creado entre los dos polos es mayor que la energía de los enlaces de puente de hidrógeno del agua, venciendo las fuerzas de Van der Waals, y atrayendo a sus respectivos elementos al polo eléctrico opuesto. El cloruro sódico, que actúa como electrolito, aumentando el rendimiento de la electrólisis del agua, también rompe sus enlaces y se disocia en iones Na^+ y Cl^- . El diafragma permite el paso de los iones al lado correspondiente de la membrana, concentrando los iones Na^+ y H^+ en el polo negativo y los iones O_2^- y Cl^- y sus compuestos en el positivo tal como muestra la figura 1.

A la salida de las celdas electrolíticas, y debido a la barrera que supone la membrana porosa, los dos efluentes están completamente separados. La solución alcalina (fracción catódica)

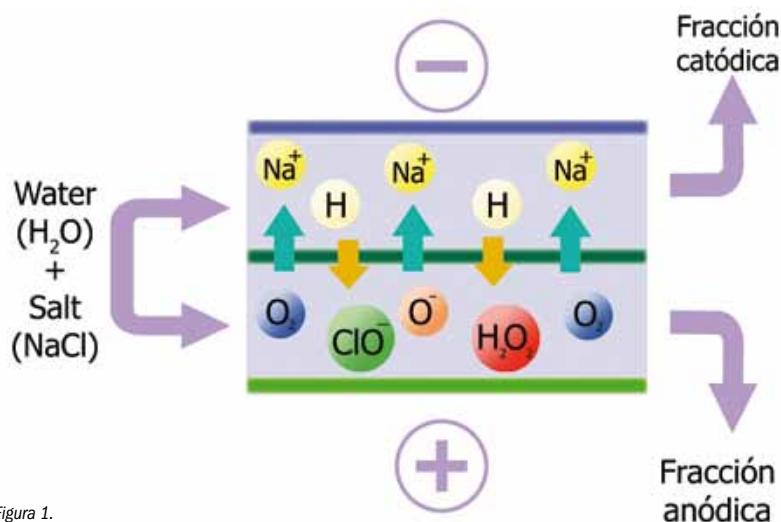


Figura 1.

contendrá compuestos de hidrógeno y sodio, mientras que la fracción anódica será una mezcla de compuestos inestables de oxígeno y cloro. El consumo eléctrico aproximado para obtener una solución de un litro de fracción anódica a 500 ppm de Cloro activo es de 10 wattios/hora, y el consumo de NaCl es de entre 3 y 8g.

PARTICULARIDADES DE LAS SOLUCIONES ACTIVADAS

Las soluciones producidas a través de equipos que llevan celda electroquímica con diafragma se llaman fracción anódica y fracción catódica, por el signo de carga de electrodo en el que se sintetizan. Dependiendo del modo de efecto electroquímico, composición química y salinidad de la salmuera, el valor de pH de la fracción anódica y fracción catódica está en el rango de 3-8 y 7-12, respectivamente. El potencial redox, medido por un electrodo de platino en relación con electrodo de cloruro de plata, puede oscilar entre +400 y +1.200 milivoltios (mV) para la fracción anódica y entre -200 y -850 mV para la fracción catódica.

Se dividen en dos clases: los activados y los inactivados.

Los parámetros y propiedades de las soluciones inactivadas están totalmente determinadas por la presencia de productos estables de la electrólisis, y tienen pocos cambios en el tiempo. Estas soluciones son relativamente estables.

Tanto la fracción anódica como la fracción catódica activadas contienen, junto con los productos estables de reacciones electroquímicas, compuestas, partículas superactivas en el estado de oxidación o reducción máxima posible. Las soluciones de estos componentes altamente activos son inestables. Su existencia y la reactividad anormalmente alta se mantiene debido al equilibrio electrostático mutuo, así como a cambios en la estructura de la solución como resultado de la influencia anterior del campo eléctrico de intensidad ultra alta en la superficie del electrodo. El impacto consecuente es que las cargas de reactivos de alta actividad sintetizados en el proceso de reacciones electroquímicas pasan

con sobreintensidad. Como resultado de los procesos electroquímicos no equilibrados, la estructura de las soluciones activadas se transforma en un ambiente propicio para la manifestación de las propiedades electro-aceptatorias de la fracción anódica y electro-donantes de la fracción catódica.

Debido a estas características, las soluciones activadas son superiores a las convencionales, no sólo en la eficiencia, sino también en seguridad medioambiental, ya que después de la relajación de los mismos semejan al agua de aljibes naturales y no requieren de tratamiento antes de ser vertidas en el alcantarillado.

A diferencia de los desinfectantes y las soluciones de esterilización tradicionales, tales como glutaraldehído, formaldehído, cloramina, hipoclorito de sodio, dicloroisocianurato, ácido peracético, compuestos de amonio cuaternario, compuestos de metales pesados y otros biocidas sintéticos, los componentes activos de fracción

anódica no es sustancia xenobiótica y no causa efectos nocivos en organismo de humanos y animales. Estas sustancias son compuestos inorgánicos de corta vida, que suelen ser sintetizados en el organismo de seres humanos y animales por fermentos celulares electroquímicamente activos y participan en el proceso de neutralización de sustancias nocivas y ajenas en el organismo (fagocitosis).

Figura 2.

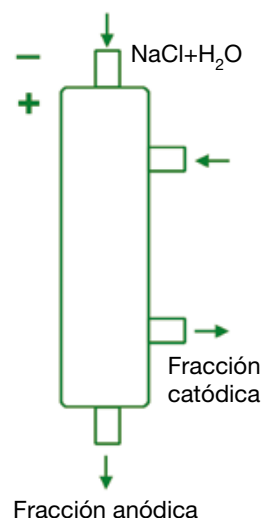


TABLA 1 Fracción anódica neutral

pH	7,2-8,4
RedOx	600-900 mV
La concentración de cloro activo	100-500 ppm según el destino

Lista de los oxidantes (ingredientes activos) de la fracción anódica

Compuestos de oxígeno activo		Compuestos de cloro activo	
Anión hidroxilo	OH ⁻	Ácido hipocloroso	HClO
Radical hidroxilo	HO	ión hipoclorito	ClO ⁻
Anión de peróxido	HO ₂ ⁻	hipoclorito-radical	ClO
Radical de peróxido de hidrógeno (perox-radical)	HO ₂	Cloro - radical (cloro atómico)	Cl
ión de hidrógeno (ión oxonio)	H ⁺	Dióxido de cloro	ClO ₂
Radical de hidrógeno	H	Clorito-radical	ClO ₂
Superóxido de hidrógeno	HO ₂	Clorito-anión	ClO ₂ ⁻
Anión de hiperóxido	HO ₂ ⁻		
oxígeno siglente molecular	1O ₂		
Electrón hidratado	e _{aq} ⁻		
ión-radical molecular de oxígeno (anión superóxido o anión hiperóxido)	O ₂ ⁻		
Catión de dioxigénica, contiene un electrón no apareado	O ₂ ⁺		
ión de oxígeno	O ₂		
Anión peróxido	O ₂ ²⁻		
Ozono	O ₃		
Anión-radical molecular de ozono	O ₃ ⁻		
Catión de peroxonio	H ₃ O ₂ ⁺		
Anión molecular de agua	H ₂ O		
Oxígeno atómico	O		
ión de hidroxonio (catión de hidronio)	H ₃ O ⁺		

Las soluciones que se sintetizan en equipos ECAS pueden ser utilizados no sólo como detergentes, desinfectantes y esterilizantes, sino también para la prevención y el tratamiento de diversas enfermedades. Su principal ventaja sobre medicamentos tradicionalmente utilizados es la completa compatibilidad biológica y la seguridad.

FRACCIÓN ANÓDICA

La fracción anódica es un desinfectante no tóxico de alto rendimiento que tiene las características que se muestran en la Tabla 1.

Esta solución, rica en compuestos oxigenados y de cloro metaestables, degrada las proteínas de las células y es capaz de eliminar bacterias, virus, hongos y esporas (incluidos los patógenos de las infecciones hospitalarias, y las infecciones anaerobias, así como Mycobacterium tuberculosis), tales como:

Bacterias: Acinetobacter baumannii, Escherichia coli (O157), Enterococcus species (VRE), Helicobacter pylori, Listeria, Legionella pneumophila, Mycobacterium avium-intracellulare, Mycobacterium bovis (TB), Mycobacterium chelonae, Mycobacterium terrae, Mycobacterium tuberculosis (TB), Mycobacterium xenopi, Mycobacterium smegmatis, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus (MRSA), Samonella cholerasuis.

Endoesporas bacterianas: Bacillus cereus, Bacillus subtilis, Clostridium difficile, Clostridium sporogenes

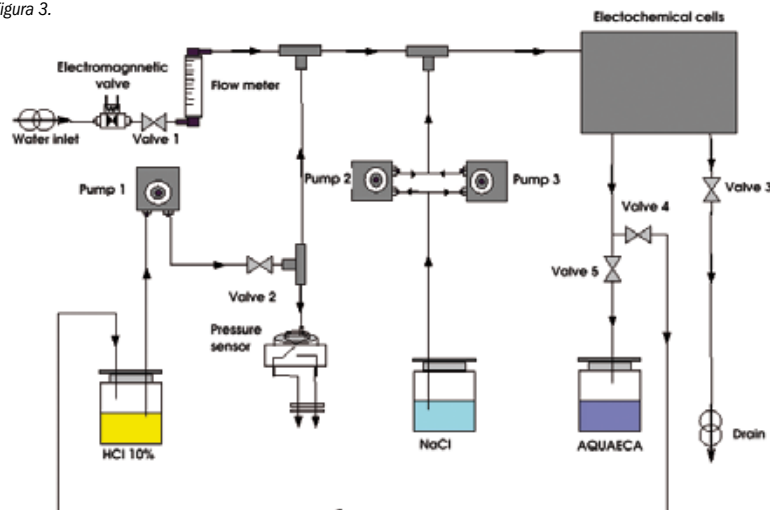
Virus: Adenovirus type 4, Bacteriophage MS2, Hepatitis A & B (HAV), Herpes virus type 1, HIV-1, Human and Animal Influenza (including H5N1 Avian Influenza and H1N1 Swine Influenza), MS2 virus, Human Norovirus (Norwalk), Murine Norovirus, Orthopoxvirus, Poliovirus type 1, Poliovirus type 2.

Hongos: Aspergillus niger, Candida albicans, Trichophyton mentagrophytes

MECANISMO DE ACCIÓN

El mecanismo de acción mediante el que la fracción anódica elimina estos diversos microorganismos está basado

Figura 3.



en el ataque de las moléculas de los compuestos metaestables de oxígeno y cloro sobre la superficie de la bacteria, hongo, virus o espora de hongo.

En primer lugar, los iones libres reaccionan rápidamente y desnaturalizan las proteínas. Una vez que la fracción anódica entra en contacto con un microorganismo, éste ataca a las proteínas bacterianas que se encuentran en las membranas celulares. De igual forma, erradica las cepas resistentes a los antibióticos.

En segundo lugar, debido a la diferencia de presión osmótica (la concentración de iones en la solución en comparación con en la del citoplasma), la fracción anódica provocará una ruptura en la de la membrana exterior que conduce a la muerte celular.

La mezcla metaestable de oxidantes es el medio más efectivo de todos los medios conocidos de destrucción de los microorganismos, ya que provoca daños irreversibles en las funciones vitales de los biopolímeros de microorganismos a nivel de las reacciones de transferencia electrónica. Las partículas metaestables con diferentes valores de potencial electroquímico tienen un espectro universal de actividad, es decir, son capaces de ejercer un efecto perjudicial en todos los principales grupos taxonómicos de microorganismos (bacterias, mycobacterias, virus, hongos, esporas) sin dañar las células de los tejidos de los seres humanos y otros organismos

superiores, es decir, a las células somáticas en el sistema multicelular.

Si comparamos su eficacia y seguridad con otros desinfectantes, como el hipoclorito sódico, como se observa en la Tabla 2, obtendremos los resultados presentados.

La concentración de compuestos activados de cloro y oxígeno será consecuencia de la concentración de NaCl de entrada y de la intensidad de la corriente eléctrica entre los dos polos.

Una vez la solución oxidante (fracción anódica) ha abandonado la celda electroquímica, empieza un lento proceso de regreso al equilibrio electroquímico. Este proceso durará entre tres y seis meses, durante los cuales la solución se mantendrá activa. Es por esta razón por la que este tipo de soluciones se generan "in situ", y su mayor poder desinfectante se manifiesta durante los primeros días. En circuitos cerrados, y para eliminación de biofouling, la solución se mantiene activa durante más tiempo, debido a la ausencia de luz solar. Utilizados, por ejemplo, en recubrimientos, su capacidad biocida permanece estable a lo largo del tiempo en función de la naturaleza del sustrato

La baja mineralización que aporta la solución oxidante, debido a su alto poder desinfectante a concentraciones bajas, evita los problemas derivados de la utilización de otros productos que, al dosificarse, aumentan la conductividad

y las incrustaciones, y disminuye comparativamente la oxidación de superficies.

Durante los próximos años nos iremos familiarizando con estas tecnologías de activación electroquímica de soluciones, debido a las ventajas económicas (bajo coste energético), ecológicas (restricciones en el uso de productos químicos) y funcionales (eficacidad contra todos tipos de microorganismos, ausencia de resistencia microbiana). Las posibilidades del flujo catódico en la industria van desde la fabricación de detergentes hasta la industria alimentaria, pasando por la industria petroquímica. Se prevé que el uso de esta tecnología se extenderá a la mayor parte de actividades industriales, tal como ya lo están haciendo grandes corporaciones en la desinfección de sus instalaciones e investigando mejoras en sus procesos productivos.

Existen más de cien esferas industriales donde se trabaja con esta tecnología largamente documentada en países como Rusia (país de origen), EE.UU., Reino Unido, Japón. Las principales son:

- Purificación y desinfección del agua potable.

- Desinfección de agua industrial y de piscinas.
- Desinfección y esterilización de instalaciones hospitalarias.
- Lavado y desinfección industria alimentaria.
- Conservación de congelados y productos alimentarios.
- Desinfección en la industria de extracción de petróleo y gas.
- Conservación de grano, frutas y verduras.
- Producción del agua antioxidante.
- Tratamiento y prevención de enfermedades de animales y aves.
- Eliminación de olores.
- Desinfección en cría de animales.
- Eliminación de enfermedades de las plantas.
- Desinfección de piscinas.
- Desinfección en edificios y aire acondicionado.
- Lavado y desinfección en industria de leche.
- ...etc

APLICACIÓN DE ECAS EN EL SECTOR HOSPITALARIO EN RUSIA

El espectro de desinfectantes en el mercado en Rusia es muy amplio. Pero el problema con la mayoría de los desinfectantes es que no siempre son eficaces contra los patógenos

de las infecciones nosocomiales. La aparición de la inmunidad a la microflora requiere un tratamiento de choque o la sustitución periódica de algunos desinfectantes por otros. Las desventajas de la desinfección tradicional son también su coste



Foto 1.

TABLA 2

Nombre, país	Características de efecto antimicrobiano					Características alergénicas y toxicidad: las clases por el GOST 12.1.007-76	Coste de un litro de solución operativa
	Bacteria	Mycobacteria	Virus	Hongos	Esporas de hongos		
Fracción anódica -AQUAECA (Rusia)	+	+	+	+	+	IV	
Hipoclorito Sódico (Varios países)	+	+	+	+	-	IV	
Precept (Estados Unidos)	+	+	+	-	-	III	
Cloramina (Varios países)	+	+	+	+	-	IV	
Chlorhexidine bigluconate	+	+	+	-	-	IV	
Lysoformin-special	+	-	+	-	-	III	
Vircon HRKA (Eslovenia)	+	-	+	-	-	III	
Lysetol-AF (Alemania)	+	+	+	+	-	III	
Sidex (Estados Unidos)	+	+	+	+	-	III	
Cold Spore (Estados Unidos)	+	+	+	+	-	IV	
Decanex 50FF (Suiza)	+	+	+	-	-	III	

Foto 2.



relativamente alto y el riesgo toxicológico. Por ejemplo, el hipoclorito de sodio fue utilizado anteriormente en prácticamente todos los hospitales en Rusia. Tiene fuertes propiedades antibacterianas. Sin embargo, su efecto sobre otros patógenos, tales como Guardia, Cryptosporidium, Legionella, es ineficaz. Además, la alta concentración de cloro activo en la solución operativa (un promedio de 5.000 ppm) da lugar a los trihalometanos en altas proporciones.

La tecnología ECAS para el sector sanitario ruso ha sido desarrollada como una respuesta a estos problemas. La tecnología de producción de fracción anódica comenzó a ser utilizada en hospitales de Rusia en los años 90. Hoy varios miles de hospitales utilizan productos ECAS para la desinfección y esterilización completa, muchos de ellos han reemplazado más del 90% de desinfectantes tradicionales con fracción anódica.

El sistema ruso de registro de nuevos productos para el sector sanitario es complejo y consume tiempo. Para empezar a utilizar fracción anódica en el sector ha necesitado más de dos años. Sin embargo, durante este tiempo se han estudiado en detalle las propiedades de la solución, probado y desarrollado métodos de aplicación.

Unas de las razones principales por las que la fracción anódica empezó a utilizarse en hospitales de Rusia

es que es eficaz contra todos los tipos de la microflora y posibilidad de producción "in situ". Hasta la fecha, 15 años y ensayos numerosos de laboratorio no han revelado una sola bacteria, virus, hongo o espora que fuese inmune a la solución.

Los resultados de las pruebas realizadas en el departamento de cuidados intensivos y de ENT de Clínica hospitalaria N 15 de Moscú demostró que la fracción anódica elimina la flora bacteriana, tanto para la desinfección de los locales como para esterilizar los instrumentos. La colonización bacteriana durante la prueba se redujo de 22% a 0: el crecimiento de nuevas bacterias no estaba sucediendo. El resultado de la prueba mostró que en el curso del tratamiento de preesterilización se realiza la esterilización de los instrumentos, acortando así el ciclo de esterilización.

La fracción anódica es eficaz contra todo tipo de microorganismos, no es tóxico y no produce efectos corrosivos sobre los instrumentos médicos. En hospitales rusos se utiliza en todas las etapas de control microbiológico: para la desinfección, limpieza y esterilización de todo el complejo de objetos de las instituciones médicas. Los ensayos en el Instituto de Ortopedia de San Petersburgo (2009) mostró que la fracción anódica es eficaz para la desinfección de los locales, equipos, aire, instrumentos médicos, sistemas de aguas residuales y de la piel humana, y previene la habituación de las bacterias debido a que es un compuesto químico inestable.



Foto 3.

En los hospitales rusos la fracción anódica se está utilizando sin ropa de protección, y en presencia de los pacientes; como la concentración de oxidantes en solución es relativamente baja (promedio 300 ppm), no provoca la irritación en contacto con las mucosas o los ojos.

Finalmente, una de las razones importantes por las que se utiliza la fracción anódica en Rusia es su bajo coste. La solución se produce a partir de sal y agua in situ, por lo que el coste del transporte y el almacenamiento se reduce considerablemente. La producción de fracción anódica requiere la compra de equipos y capacitación del personal de mantenimiento, pero la experiencia rusa demuestra que esos costes se recuperan dentro de los tres meses siguientes. Según un estudio de mercado publicado en la revista "Alfabeto Médico" en el año 2003, el coste de la fracción anódica es 3,7 veces menor que el coste promedio de las soluciones de trabajo para la desinfección en el hospital: la solución es más barata que el hipoclorito de sodio.

Fuera de Rusia, la práctica de usar fracción anódica en el sector hospitalario ha comenzado recientemente. Ejemplo conocido es un hospital de Múnich-Schwabing, que utiliza la fracción anódica para eliminar la legionella en el sistema de agua. Soluciones ECAS se utilizan en el Reino Unido, EE.UU. y Japón. Sin embargo, la aplicación integrada de tecnología ECAS en la medicina fuera de Rusia está todavía en su principio.

BIBLIOGRAFÍA

[1] El alfabeto médico 11, 2003, sec. 24 a 25, 1, 2004., 25 a 27.

[2] Primer Simposio Internacional. Activación electroquímica en la medicina, la agricultura y la industria. Resúmenes e informes breves (Moscú, 1997)

[3] Sistema de Información Internacional de Tecnologías de la resonancia. Colección 21. (Izhevsk, 2001)

[4] INSTRUCCIONES 1 de la aplicación del desinfectante AQUAECA-MED "(000 NPP" Izumrud ", Rusia) con el propósito de la desinfección, preesterilización, esterilización, y uso como antiséptico para la piel. (San Petersburgo, 2009)