



ISSN 2448-8003

Elaboración de gel desinfectante a base de dióxido de cloro de bajo costo

Preparation of low-cost chlorine dioxide-based disinfectant gel

Oscar Jaramillo-Jacinto¹, María-Guadalupe Vásquez-González¹, Anabel Pineda-Briseño¹, José-Fernando Rivas-Guevara¹

¹ Tecnológico Nacional de México – IT Matamoros, Tamaulipas, México.

Recibido: 07-09-2022
Aceptado: 17-10-2022

Autor correspondal: M20261176@matamoros.tecnm.mx

Resumen

El artículo que se presenta se enfoca en la fabricación de un gel higienizador y desinfectante en presentación de gel, en base a una solución de dióxido de cloro, que presente un costo de producción menor al gel fabricado con alcohol isopropílico, el cual es una materia prima más común. En la actualidad los productos mayormente utilizados son a base de alcohol, estos resultan efectivos, sin embargo, su costo puede aumentar y su disponibilidad disminuir a causa de la alta demanda, esto llega a poner en una situación difícil a comerciantes locales que no pueden costear productos desinfectantes ya conocidos.

El dióxido de cloro se presenta como una alternativa más económica a emplearse la cual, actualmente se utiliza en la desinfección de tratamiento de agua potable, debido a su capacidad desinfectante en bajas concentraciones y su producción de manera electrolítica es de menor costo comparado con desinfectantes disponibles en el mercado.

Palabras clave: Higienizador, Dióxido de cloro, Desinfectante

Abstract

The article that is presented focuses on the manufacture of a sanitizing and disinfecting gel in gel presentation, based on a chlorine dioxide solution, which has a lower production cost than the gel made with isopropyl alcohol, which is a material most common cousin. At present, the most used products are alcohol-based, these are effective, however, their cost may increase and their availability decrease due to high demand, this puts local merchants who cannot afford it in a difficult situation. already known disinfectant products.

Chlorine dioxide is presented as a cheaper alternative to be used, which is currently used in the disinfection of drinking water treatment, due to its disinfectant capacity in low concentrations and its electrolytic production is lower cost compared to available disinfectants. in the market.

Keywords: Sanitizer, Chlorine Dioxide, Disinfectant

Introducción

La importancia de mantener las manos desinfectadas e higienizadas se ha mantenido como una forma común para preservar la salud de las personas y de los productos que se manipulen. Las manos son nuestro principal foco de infección, ya que prácticamente todo lo que manejamos hacemos uso de las manos y son las mismas las cuales tienen contacto con nuestro cuerpo. Las manos son nuestro principal foco de infección, ya que prácticamente todo lo que manejamos hacemos uso de las manos y son las mismas las cuales tienen contacto con nuestro cuerpo. Esto puede llegar a presentar un peligro si no

mantenemos una higiene adecuada en nuestras manos, manteniendo una correcta higiene en nuestras manos disminuye de una manera significativa el riesgo de infecciones de tipo gastrointestinal, así como infecciones de tipo respiratorias. (Gold, Mirza, & Avva, 2021)

La higienización de las manos a tomado un papel de gran importancia durante la situación de emergencia en la que se vive a causa del COVID-19, el cual es necesario evitar su propagación en lo más mínimo, por lo que la higienización de las manos es parte fundamental para romper la cadena de contagios por contacto con áreas contaminadas. El éxito de este depende de la efectividad del higienizador que se utilice, siendo el más común los higienizadores a base de alcohol en porcentajes variados que oscilan entre el 62%-95% el cual tiene por mecanismo de acción la desnaturalización de las proteínas en la membrana del plasma de los microorganismos, así como la desactivación de los virus.

Estos higienizadores pueden encontrarse en diferentes presentaciones, de los cuales su efectividad está relacionada en el porcentaje de alcohol de la mezcla. (J. Jing, y otros, 2020)

El uso de un componente de bajo costo pretende denotar un impacto económico al posicionar el producto como una opción más accesible a las ya presentes en el mercado.

En un impacto técnico se implementa técnicas poco utilizadas para la fabricación de gel desinfectante debido a que presenta una base diferente.

El dióxido de cloro es conocido por ser un bactericida y fungicida muy efectivo, su mecanismo de acción se basa en la oxidación de las membranas celulares para así eliminarlas. Su capacidad de desinfección presenta mayor efectividad a diferencia de otros componentes como el cloro. (R.A. Deininger).

El dióxido de cloro fue considerado para remplazar otros componentes debido a su reactividad con material orgánico, incluso se comprobó actividad antiviral de hasta 10 veces mejor que el hipoclorito de sodio frente a virus como la influenza y herpes. (Cavero Olguin, 2020). El dióxido de cloro es considerado incluso como el biocida ideal por su gran capacidad de desinfectante incluso con concentraciones cercanas a 1ppm en un amplio rango de PH. (Vicuña-Reyes, Luh, & Mariñas, 2007).

La efectividad del dióxido de cloro puede llegar a cambiar en diferentes casos que no solo se centra en la concentración de la solución, también la temperatura puede ser un factor que afecta el efecto biocida. (Friedline, y otros, 2015).

La concentración del dióxido de cloro puede presentar algunos malestares en el contacto con la piel u ojos en forma de irritación o incluso en la ingesta de este, sin embargo, el manejo de bajas concentraciones no muestra un daño o irritación considerable en seres vivos lo cual lo convierte en un

desinfectante amigable en cuestiones de las concentraciones adecuadas. (Ma, y otros, 2017). Es importante resaltar que el dióxido de cloro no es un medicamento o tratamiento para ninguna enfermedad por lo cual no existe aprobación de instituciones médicas o de salud que recomienden el uso del dióxido de cloro como una solución milagrosa para enfermedades o padecimientos. (Pulluaim, 2015)

El carbopol, carbomero o ácido poliacrílico es un agente espesante utilizado en la mayoría de los productos de geles y preparaciones magistrales. El carbopol presenta características que lo caracterizan por su fácil manipulación para preparar geles, no se requiere manejos especiales y es muy fácil variar sus propiedades físicas. (Alía Fernández-Montes, 2020).

El carbopol es utilizado como un agente gelificante al ser neutralizado en una mezcla acuosa con otros solventes orgánicos como la glicerina o propilenglicol, por lo cual es utilizado para la preparación de gel desinfectantes. (Molina, Serres, Solarte, Sulbarán, & Zambrano, 2011) El carbopol forma geles neutros, transparentes dependiendo de los disolventes o principios activos con los cuales se mezcle y es dependiente del PH de la solución en la que se disuelva, ya que las soluciones ácidas evitan formar el gel por lo que se requiere soluciones cercanas al neutro. (Flores Landero, 2018)

La investigación sobre formación de gel de dióxido de cloro es expuesta en el artículo publicado por Barnabás Palcsó, Zsófia Moldován, Károly Süveg, Anna Herczegh y Romána Zelkó (2019) donde se logra realizar diferentes fórmulas de gel en las cuales se contiene dióxido de cloro para lograr prolongar el efecto antimicrobiano en un gel con ácido poliacrílico, el cual también es conocido como carbopol. El gel con base de carbopol permite tanto la carga como la liberación del dióxido de cloro en concentraciones suficientes para tener efectos microbianos, de igual forma el uso del carbopol logra que sus aplicaciones terapéuticas sean prometedoras. Existen otros materiales que son utilizados también para formar geles, sin embargo, no son factibles por la incompatibilidad del dióxido del cloro con materiales como la goma de xantana, esta incompatibilidad se presenta debido a que el dióxido de cloro oxida la estructura de la glucosa de la goma de xantana, por el rompimiento de los enlaces de oxígeno entre la glucosa y la manosa, este proceso forma subproductos de cloro gas y oxígeno. (Bernal Ruíz & Diaz Agudelo, 2010)

La producción de dióxido de cloro se puede obtener de dos maneras principales, una es por medio de una reacción química usando una sal, comúnmente clorito de sodio, con un ácido el cual puede variar, el segundo método es por medio de electrolisis de una solución de clorito de sodio en medio acuoso.

En el proceso de producción de dióxido de cloro por medio de reacción química es el más utilizado, en este tipo de proceso existen dos formas, la primera es por un medio de la reacción del clorito de sodio con el cloro gaseoso o un ácido como el ácido clorhídrico, siendo esta reacción por medio de solo dos

compuestos, la segunda reacción es el clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico siendo una reacción de tres componentes. (R.A. Deininger)

El segundo método de obtención de ClO₂ es por medio electrolítico, este método es una opción más viable debido a que no genera subproductos y puede ser más eficiente que por medio de las reacciones químicas. Consiste en la disociación electroquímica del clorito de sodio en una solución acuosa de clorito de sodio por medio de una corriente eléctrica controlada en la solución.

El gas generado de dióxido de cloro es burbujeado en agua para su captura y estabilización. (Álvarez, Párraga, & Claros)

El método electrolítico propuesto en la investigación de Álvarez Rene, Párraga Boris, Claros Olfier, indica que el elaborar una celda electrolítica como un prototipo para generar dióxido de cloro a partir de clorito de sodio es una opción viable al utilizar como electrodos el material de grafito, ya que estos pueden ser obtenidos del reciclar pilas en desuso y presentan mejor resistencia a la corrosión a diferencia de usar electrodos de algún tipo de metal similar al fierro o al galvanizado.

Materiales y métodos

Producción de gel

Materiales

- Carbopol
- Hidróxido de sodio 50%
- Solución de dióxido de cloro 3000ppm
- Agua destilada
- Propilenglicol

Instrumentos

- Tiras reactivas para dióxido de cloro
- Pipeta de transferencia
- Envase ámbar
- Vaso de precipitado
- Varilla para agitación

Procedimiento

Se consideró las diferentes cantidades de carbopol y dióxido de cloro en una preparación de 100ml, estas variaciones se formularon con ayuda de una prueba de DOE por medio de del software estadístico MiniTab, el cual marca las siguientes combinaciones:

Formula 1

- 4 gr Agente gelificante (Carbopol)
- 50 ml de solución de dióxido de cloro de 3000ppm

Formula 2

- 1 gr Agente gelificante (Carbopol)
- 10 ml de solución de dióxido de cloro de 3000ppm

Formula 3

- 4 gr Agente gelificante (Carbopol)
- 10 ml de solución de dióxido de cloro de 3000ppm

Formula 4

- 1 gr Agente gelificante (Carbopol)
- 50 ml de solución de dióxido de cloro de 3000ppm

Estas cantidades fueron formuladas en base a el máximo y mínimo de carbopol a utilizar y de solución de dióxido de cloro, el resto de la mezcla se completa con agua y con 5 ml de propilenglicol como un valor constante en las fórmulas. El tiempo de hidratación del carbopol fue de 24hrs en envases color ámbar para evitar el contacto directo con la luz.

Como parámetro de resultado se tomó la medición de la concentración de dióxido de cloro contenido en el gel formado, sin embargo, también se tomó en cuenta las características físicas del producto final para considerar una formula con la mejor presentación y mayor facilidad de manejo.

Producción de dióxido de cloro

Materiales

- Clorito de sodio
- Agua destilada

Instrumentos

- Tiras reactivas para dióxido de cloro
- Electroodos de grafito
- Balanza

La producción del dióxido de cloro es una opción para reducir los costos de producción del gel desinfectante, debido a que, en cuestión de ingredientes, la diferencia con los geles convencionales es el agente desinfectante.

Para este proyecto se contempló en primera instancia el utilizar un generador de dióxido de cloro para suministrar de manera fácil la materia prima principal para el gel. Sin embargo, se presentaron complicaciones para la adquisición de un generador. En otra alternativa para el método de producción se propone el hacer un generador de dióxido de cloro casero. A diferencia de los generadores en venta que utilizan cátodos de platino se propone el utilizar cátodos de grafito ya que es un material fácil de conseguir como un material de desecho encontrado dentro de las pilas tipo D que en su interior contienen una barra de grafito.

La obtención de los electrodos a partir de pilas tipo D se consideró por el hecho que el electrodo es de mayor tamaño lo cual lo hace más fácil de manipular para el generador, de igual forma ayuda al tener mayor superficie que tendrá contacto con la solución salina.

Los electrodos se conectaron de tal forma que los 3 electrodos correspondientes al catión así como los del anión se juntaron en la parte posterior de la tapa de la celda para poder suministrar la corriente sin tener contacto con la solución salina.

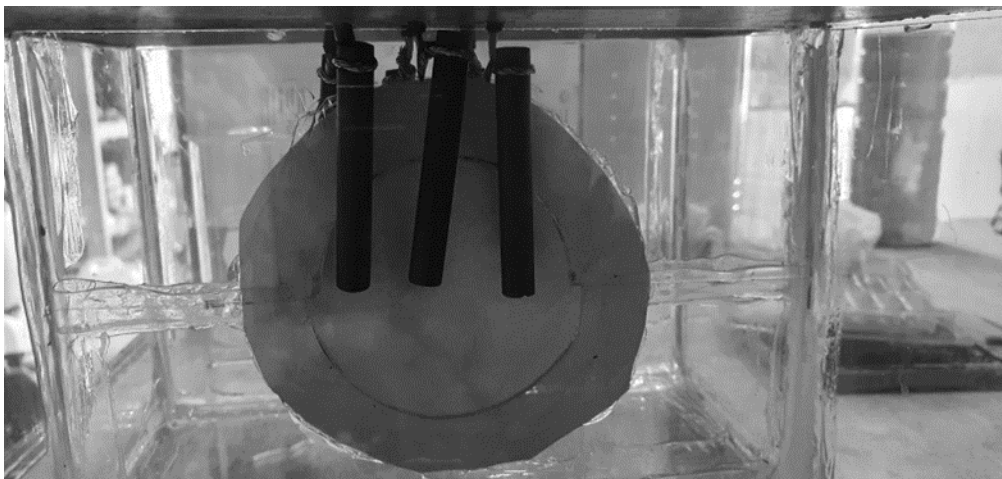


Ilustración 3. Electrodos de grafito dentro de la celda electrolítica.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Las cantidades de hidróxido de sodio utilizadas para neutralizar la solución de dióxido de cloro con en agente gelificante fueron muy pequeñas por lo que para la preparación de gel en cantidades pequeñas como lo son los 100 ml la concentración del hidróxido de sodio puede tener una afectación en las características físicas del gel, por lo que esta opción debe considerarse para producir cantidades mayores.

En la parte de la hidratación del carbopol en 50ml de agua se verificaron las características físicas como visuales las cuales presentaron algunas dificultades durante la manipulación de la mezcla.

Una vez formado el gel en las 4 presentaciones diferentes se verifico las concentraciones de dióxido de cloro y se verificaron las características físicas en cada formulación, donde se observaron claras diferencias entre cada gel, tanto en viscosidad como en coloración debido a la concentración de dióxido de cloro en la mezcla.



Ilustración 1. Presentación del gel en las cuatro formulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Se anotaron los resultados en el software estadístico MiniTab para realizar el análisis de experimentos generando el diagrama de Pareto para identificar si uno de los factores mencionados afecta de manera crítica en la formulación.

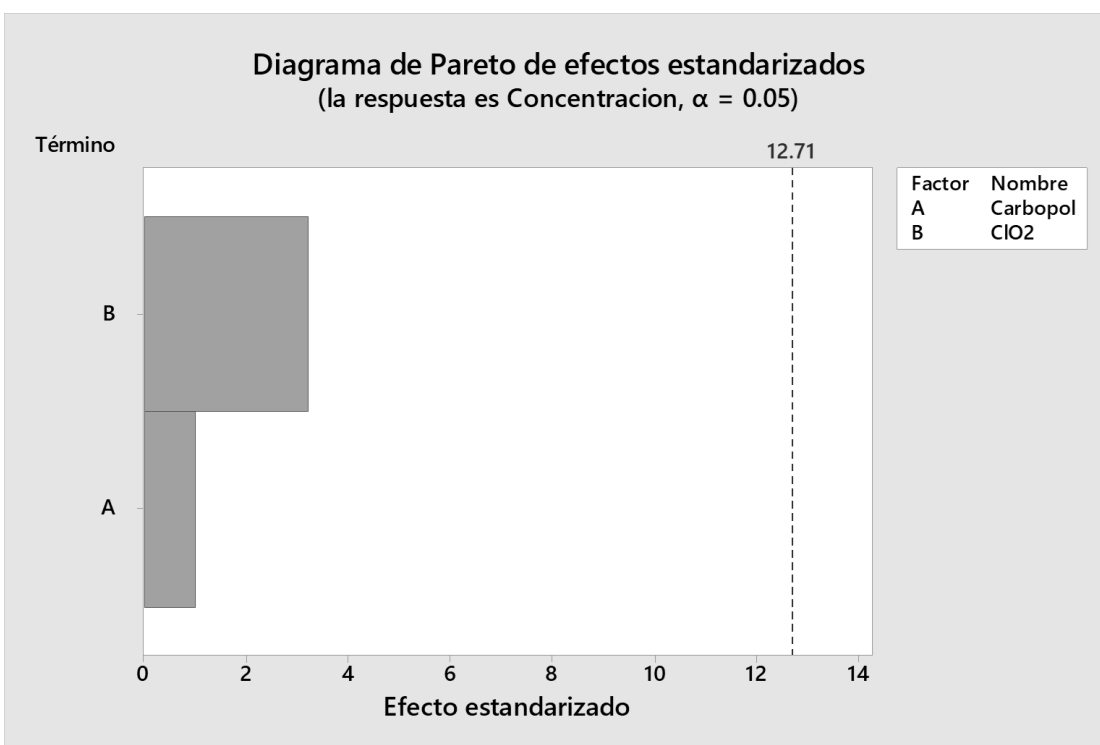


Ilustración 2. Diagrama de Pareto
Fuente: Elaboración propia.

La fabricación del gel a base de dióxido de cloro presenta algunas limitantes en el manejo del material, principalmente por la sensibilidad que muestra la solución de dióxido de cloro a la luz lo cual va degenerando y bajando su concentración, así como su capacidad de higienizar y de desinfección.

Durante las pruebas de formulación del gel a base de carbopol se optó el uso de propilenglicol para facilitar la emulsificación de la mezcla y bajar la cantidad de trietanolamina utilizada en el producto. Los resultados obtenidos de las lecturas de concentración de la mezcla indican que las mezclas con menor cantidad de carbopol conservan más la concentración de dióxido de cloro con el paso del tiempo y a temperatura ambiente. Esto indica que la neutralización es mejor con esas cantidades y la formación del gel, que, aunque es de baja viscosidad, cumple con la formación del gel desinfectante.

El factor principal para lograr la formación del gel es la neutralización del carbopol de manera que no afecte de alguna forma el dióxido de cloro, el uso de la trietanolamina a largo plazo afecta de manera considerable la efectividad del gel desinfectante debido a su incompatibilidad con el dióxido de cloro, por lo que, el cambio de la trietanolamina por hidróxido de sodio presenta mejores resultados en la formación del gel.

La formulación número 4 fue la que presentó mejores características físicas en viscosidad y concentración de dióxido de cloro, por lo que el usar cantidades de 50% de solución de dióxido de cloro

a 3000ppm en la mezcla da como resultado cantidades mayores a 500ppm de concentración de dióxido de cloro en el gel desinfectante.

El producto obtenido durante la producción de dióxido de cloro con el generador propuesto se le realizó una verificación de concentración de dióxido de cloro para corroborar que la saturación se formara logrando el objetivo deseado, pero con la limitante de que las tiras reactivas disponibles solo detectan concentraciones máximas de 500 ppm. El contenido de dióxido de cloro presente en la botella de agua fácilmente sobrepaso la concentración de 500 ppm. Para lograr tener una lectura más precisa se realizó una dilución tomando una muestra del producto obtenido, en este caso 25ml y se agregaron 75 ml de agua para realizar la lectura a una dilución de un cuarto. La concentración obtenida se multiplico por la dilución realizada que es a un cuarto para tener un aproximado de la concentración de la solución obtenida.

Durante las pruebas de generación de dióxido de cloro se comprobó que es posible el generar dióxido de cloro a partir de una solución de clorito de sodio en una celda electrolítica con cátodos de grafito como lo demuestra Álvarez Rene, Párraga Boris, Claros Olfer en su investigación sobre el tema. Cabe mencionar que las pruebas funcionaron como una recreación para comprobar la solubilidad de diseñar una celda electrolítica funcional para generar dióxido de cloro de una forma más rápida y de mejor calidad al no presentar subproductos. Esta condición de prueba se presentó debido a las limitantes de equipo para realizar dicho proceso, la unidad utilizada para suministrar la energía eléctrica controlando el amperaje y el voltaje se vieron afectados al pasar poco tiempo de iniciar el proceso, por lo que no fue posible continuar con la experimentación de cantidades de voltaje o amperaje para encontrar una combinación óptima para el proceso.

La posibilidad de generar dióxido de cloro con una celda electrolítica ayuda a bajar en gran medida el costo de la principal materia prima del gel desinfectante, ya que los precios por litro de dióxido de cloro son elevados en comparación de otros productos como el alcohol etílico o el alcohol isopropílico. Utilizando como base los costos mostrados para la producción de dióxido de cloro en la investigación de Álvarez Rene, Párraga Boris, Claros Olfer, se adaptó el costo de producción conforme a los precios en México.

Los costos de producción de 1 litro de dióxido de cloro no sobrepasan los \$19.00 MNX en cada caso considerando el costo del clorito de sodio en un precio de mayoreo o menudeo así como la tarifa eléctrica en diferentes consumos. Este precio se encuentra muy por debajo de los precios de venta en el mercado que sobrepasan los \$500.00 MNX, por lo que la producción del dióxido de cloro por medio electrolítico mejora en gran medida el costo de producción del gel desinfectante a base de dióxido de cloro.

El proceso de producción del gel de dióxido de cloro se puede dividir en 4 partes para lograr el producto final, como primera parte es el producir la materia prima principal con un generador electrolítico con solución de clorito de sodio, en segunda parte es la hidratación del carbopol al 1% de la mezcla por un tiempo aproximado de 24 horas, para la tercera parte es el neutralizar la mezcla del carbopol hidratado y dióxido de cloro con hidróxido de sodio hasta formar el gel, por última parte se considera el embotellar en envases color ámbar o que bloquen la luz para evitar una degradación del dióxido de cloro y comprometer su capacidad de higienizar

Proceso de producción de gel de ClO₂



Ilustración 4. Diagrama de proceso de producción de gel de ClO₂

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Conforme a los datos obtenidos durante la investigación se comprueba la factibilidad para la producción de dióxido de cloro en gel como una opción más de desinfectante que puede ser usado de la misma forma que opciones ya existentes en el mercado. Por otra parte, el manejo del dióxido de cloro presenta algunas limitantes en establecer un proceso de producción del gel a diferencia de otros materiales principalmente el alcohol el cual no presenta cambios con el contacto al medio ambiente o la exposición a la luz directa.

El dióxido de cloro es un material que presento algunas dificultades durante la experimentación debido a su incompatibilidad con algunos materiales, como fue el caso con la goma de xantana y la trietanolamina, pero a pesar de eso conforme a la formulación 4 que se presento es el proceso más sencillo para su producción. El hecho que exista una degradación del dióxido de cloro con la luz directa requiere utilizar envases especiales ya sean ámbar o que solo que no permitan la transmisión de la luz al producto, esto aplica también durante la producción del dióxido de cloro desde el generador electrolítico.

Los costos de producción de gel a base de dióxido de cloro son mas bajos que los de base alcohol incluso comparando el precio máximo del dióxido de cloro contra el mínimo del alcohol, por lo que lo convierte en una opción viable a pesar de los cuidados que debe tener el manejo del dióxido de cloro para evitar su degradación. Este costo depende completamente de la producción del dióxido de cloro ya que disminuye en gran medida el costo del dióxido de cloro el cual tiene precios muy altos a comparación con el alcohol, por lo que el incluso invertir tanto en un generador electrolítico o diseñar un generador electrolítico es una opción viable dependiendo del tipo de producción que se desee hacer, una producción alta con enfoque a ventas del gel o solo para su uso personal como una alternativa al alcohol etílico.

El generar el dióxido de cloro da pie a poder utilizar el material en algún otro tipo de producto de desinfección y no solo para generar el gel desinfectante. Como hemos visto, la capacidad desinfectante del dióxido de cloro lo convierte en un excelente biocida que puede sustituir algún otro desinfectante como el alcohol, hipoclorito de sodio, sales de amonio u ozono.

El recrear la celda electrolítica como lo indica la investigación de Álvarez Rene, Párraga Boris, Claros Olfer se reitera el hecho que realizar la producción por medio electrolítico en lugar de un proceso químico tiene un impacto en bajar el costo de producción de dióxido de cloro y con posibilidad de escalar para otros usos del desinfectante, es posible que realizando una investigación más extensa se pueda establecer un diseño más detallado contemplando algunos puntos o variables que puedan influir en la celda, principalmente el área superficial de contacto de los electrodos así como alternativas de material diferentes al grafito.

El proceso de fabricar gel en base a lo expuesto en la investigación de por Barnabás Palcsó Zsófia Moldovánb Károly Süveghe Anna Herczeghb y Romána Zelkóa sobre el uso del ácido poliacrílico para extender el efecto microbiano del dióxido de cloro fue la principal fuente de investigación sobre formulaciones de gel.

Referencias bibliográficas

Alía Fernández-Montes, D. E. (2020). *DESCRIPCIÓN Y ELABORACIÓN DEL GEL DE CARBOPOL 940*.

- Álvarez, R., Párraga, B., & Claros, O. (s.f.). *Producción de dióxido de cloro como desinfectante*. Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ), Facultad de Ingeniería, La Paz.
- Bautista-Santos, H., Martínez-Flores, J. L., Fernández-Lambert, G., Bernabé-Loranca, B., Sánchez-Galván, F., & Sablón-Cossío, N. (2015). Modelo de integración de cadenas de suministro colaborativas. *Dyna*, 145-154.
- Bernal Ruíz, A. M., & Diaz Agudelo, J. A. (2010). Dosificación de dióxido de cloro para degradar la goma xantana en lodos generados por la perforación de pozos petroleros . (U. d. Ingeniería, Ed.) *Ciencia Unisalle*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1497&context=ing_ambiental_sanitaria
- Cavero Olguin, V. H. (Noviembre de 2020). Dióxido de cloro, los milagros no existen. *CON-CIENCIA*.
- Flores Landero, C. E. (23 de Enero de 2018). (Flores Landero, Carlos Enrique) Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/369759429/Carbopol-y-Gel-carb-mero-pdf>
- Friedline, A., Zachariah, M., Middaugh, A., Heiser, M., Khanna, N., Vaishampayan, P., & V Rice, C. (2015). Sterilization of hydrogen peroxide resistant bacterial spores with stabilized chlorine dioxide. *AMB Express*. doi: 10.1186/s13568-015-0109-4
- Gold, N. A., Mirza, T. M., & Avva, U. (2021). Alcohol Sanitizer. Treasure Island, Florida: StatPearls.
- J. Jing, J. L., Pei Y., T., Bose, R., McCarthy, Tharmalingam, N., & Madheswaran, T. (Mayo de 2020). Hand Sanitizers: A Review on Formulation Aspects, Adverse Effects, and Regulations. *International Journal of Environmental Reserch and Public Health*.
- Ma, J.-W., Huang, B.-S., Hsu, C.-W., Peng, C.-W., Cheng, M.-L., Kao, J.-Y., . . . Wang, S.-S. (2017). Efficacy and Safety Evaluation of a Chlorine Dioxide Solution. *Int J Environ Res Public Health*. doi:10.3390/ijerph14030329
- Molina, G., Serres, G., Solarte, S., Sulbarán, A., & Zambrano, M. (Junio de 2011). *ELABORACION DE SOLUCIONES SANITIZANTES*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, DEPTO. DE QUIMICA INDUSTRIAL Y APLICADA, Merida. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/geles-beta.pdf>
- Palcsó, B., Moldován, Z., Süvegh, K., Herczegh, A., & Zelkó, R. (2019). *Chlorine dioxide-loaded poly(acrylic acid) gels for prolonged antimicrobial*. Materials Science & Engineering C. Elsevier B.V. Recuperado el Noviembre de 2020
- Pulluaim, R. (11 de Noviembre de 2015). *chemical safety facts*. Obtenido de chemicalsafetyfacts.org: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/category/chlorine-dioxide/>
- R.A. Deininger, A. A. (s.f.). DÍOXIDO DE CLORO. *The University of Michigan*.
- Vicuña-Reyes, J. P., Luh, J., & Mariñas, B. J. (2007). Inactivation of Mycobacterium avium with chlorine dioxide. *Water reserch*.