

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA GENERACIÓN DE HIDRÓGENO CON AGUAS COLOREADAS TEXTILES

PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA AMBIENTAL

Autores: Daniela Hernández Mahecha – danny_elah@hotmail.com
Juan Sebastián Neuta Castro – juan.sebastian.neuta@gmail.com

Director: Freddy Leonard Alfonso Moreno

PALABRAS CLAVE

Hidrógeno, Aguas coloreadas, Tratamiento de aguas, Fotoelectroquímica, Electrólisis, Electrocoagulación.

“Diseño y construcción de un prototipo a nivel de laboratorio para la generación fotoelectroquímica de hidrógeno a partir de aguas residuales del proceso de teñido en la industria textil como un aporte inicial a los planes de gestión hídrica y energética de la industria textil en corresponsabilidad con las comunidades”

CONTEXTO

En la actualidad, existen diversos tipos de tratamientos de aguas residuales. Los químicos y biológicos requieren de amplios espacios, alto consumo energético y uso de diversos compuestos químicos, en cambio, los tratamientos físicos suelen ser más ventajosos

(Gilpavas, Arbeláez, Sierra, White, Oviedo & Restrepo, 2008)

Tratamientos como la electrocoagulación, que consiste en el paso de una corriente eléctrica por las aguas residuales provocando la desestabilización de los compuestos son de alta efectividad en la

remoción de DQO, COT y color (Arango Ruiz, 2005).

De igual manera, los procesos de oxidación avanzada hoy, son objeto de investigación y amplia implementación, ya que facilitan el tratamiento de aguas con contenidos muy variables de sustancias (Carvajal, 2011), a través de, oxidaciones químicas basadas en la oxidación in situ de radicales hidroxilos altamente reactivos (OH) en condiciones ambientales (Glaze, Kang, & Chapin, 1987). Dentro de estos procesos se destacan la fotocatalisis heterogénea y el fotofenton; técnicas versátiles y fácilmente combinables con otras de tipo eléctrica, químico y biológico que pueden mejorar su efectividad. Una de las ventajas notables de estos procesos es la obtención de hidrógeno gaseoso como subproducto del tratamiento.

Este, el hidrógeno, es considerado el vector energético del futuro, pues presenta el más alto contenido energético por unidad de masa que

cualquier otro combustible fósil (Villa Gómez, 2013). Su combustión solo produce vapor de agua y se usa en celdas de combustible para producción de electricidad.

JUSTIFICACIÓN

Producir hidrógeno de manera sostenible y limpia es un pilar de la investigación en tecnologías limpias, más aún, si se logra a partir del tratamiento de aguas residuales textiles, considerando la continua presión que ejerce la industria textil a nivel mundial sobre los reservorios de agua. Un sector que se caracteriza por tener la mayor huella hídrica en el mundo debido al alto consumo de agua y energía, además del uso de sustancias químicas diversas. (Ospina Rendón, Montoya Arango, & García palacio, 2007).

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO

Para el diseño del prototipo se adelantaron

de forma preliminar dos tipos de ensayos. Los primeros aplicando la fotocatalisis heterogénea usando electrodos de dióxido de titanio (fabricados en laboratorio en vidrio, PET y en solución) y contra electrodos de ferroníquel y los segundos, aplicando electrolisis y electrocoagulación con electrodos de cobre, ferroníquel y grafito bajo exposición de luz solar directa y luz UV negra.

De acuerdo con las observaciones hechas en los ensayos preliminares, se establecieron los parámetros de diseño del fotorreactor de electrólisis y electrocoagulación: una fuente de luz UV negra (360nm), una fuente variable de voltaje (6,9 y 12V), caudales de entrada y salida de 150 ml, concentraciones del catalizador H_2O_2 de 600 mg/l, 800 mg/L, y 1200 mg/L y una concentración de la muestra problema de 200 mg/L de colorante azul índigo.

Posteriormente, se formuló el diseño experimental factorial de $3 \times 3 \times 2$ con una réplica y tres factores: voltaje (6,9 y 12V),

concentración de H_2O_2 (600 mg/l, 800 mg/L, y 1200 mg/L) y longitud de onda (luz visible y luz UV negra).

Se construyó el prototipo y se ejecutaron 36 ensayos (30 minutos cada uno) dispuestos según el diseño experimental.

A cada una de las muestras pre y post tratamiento dentro del prototipo (caudal de entrada y salida), se les aplicaron pruebas físicas de calidad de aguas: turbidez, conductividad y pH. De los resultados (volumen de gas desprendido, turbidez, conductividad y pH) se procedió a hacer el análisis estadístico del diseño experimental con el software Minitab 17.01, con el que se determinó, las condiciones óptimas de funcionamiento del dispositivo.

Se ejecutó un ensayo adicional en condiciones óptimas de funcionamiento del dispositivo, del que se recolectó y almacenó el gas producto, que posteriormente, se sometió a un análisis de cromatografía de gases para determinar la presencia y pureza

del hidrógeno en la muestra. Con estos resultados se estableció la eficiencia del prototipo.

Como primer resultado, se verificó que la fotocatalisis heterogénea no fue exitosa en la producción y desprendimiento de gas, ya que no existió fotoactivación en los semiconductores construidos en vidrio de borosilicato y PET por la impureza del dióxido de titanio utilizado (dióxido de titanio de uso comercial), no funcional para aplicaciones fotocatalíticas. Sin embargo, se percibió decoloración de las aguas (varios días después), debido a la presencia de peróxido de hidrógeno H_2O_2 como agente oxidante en las muestras y su fotoactivación con la luz UV.

La electrolisis y electrocoagulación fueron más exitosas en la producción de gas usando electrodos de grafito por su menor degradación a la oxidación, su bajo costo y su alta conductividad de la corriente eléctrica; por ello, estos fueron usados en la fabricación del prototipo.

En segunda medida, se establecieron y verificaron los parámetros de diseño y construcción del dispositivo: fuente variable de voltaje Mean Well (MW) de 2 Amperios, una celda electrolítica en vidrio borosilicato de 2 Amp, 5 electrodos y contraelectrodos de grafito conectados de manera polar en paralelo (área de contacto: 17.3 cm^2), sistema de probeta invertida para la cuantificación del desprendido, burbujeador (jeringa con aguja hipodérmica), bolsas recolectoras de gas en plástico polipropileno/poliamida/polietileno (Viaflex –Baxter) de 500 ml., caja de madera de color blanco brillante (50 cm x 40 cm x 30 cm), lámparas luz negra Nippon 6 W., colorante azul índigo marca Iris y peróxido de hidrógeno 30% V/V marca Campota. Ver figura 1.

De la aplicación de las pruebas fisicoquímicas de calidad de aguas (pH, turbidez y conductividad) en las muestras post tratamiento, se puede resaltar que el pH

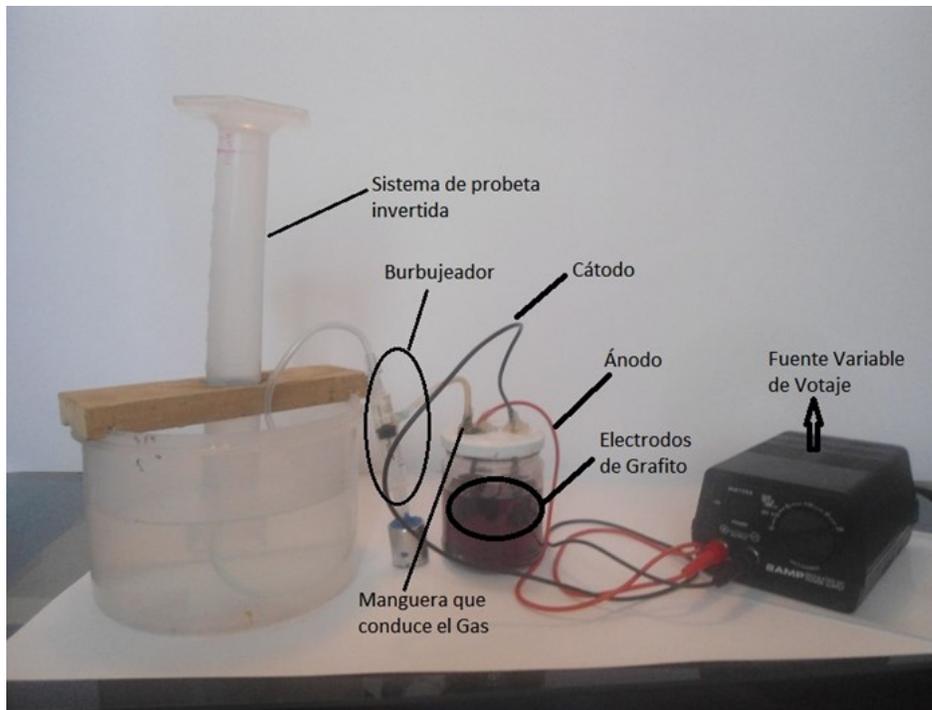


Figura 1. Prototipo conectado al sistema de probeta invertida.
Fuente: Autores, 2016

fue un parámetro que permaneció constante virando entre valores de 6 a 7, debido a que no se utilizaron bases o ácidos fuertes que modificasen la capacidad electrolítica de la muestra. La conductividad y turbidez, no resultaron ser buenos indicadores de la mineralización del colorante. La conductividad, a su vez, tuvo un comportamiento variable en el experimento. Cuando se desarrollaron los ensayos en presencia de luz UV, la conductividad se redujo del parámetro de referencia de la

muestra de agua coloreada de 200 mg/L de azul índigo (546 microsiemens). No fue así, para los ensayos en fase oscura en donde los valores registrados superan la medida estándar. Por tanto, se asume que el aumento de la conductividad se debe a que las formas oxidadas que derivaron del tratamiento electroquímico sobre el colorante, tienen un alto carácter iónico mucho mayor que el de la mayoría de sustancias orgánicas. La turbidez que se pretendía relacionar con la remoción de los sólidos suspendidos en el

agua aumentó, posterior a los tratamientos electroquímicos pasando de una turbidez de 0.79 NTU para la muestra blanco preparada con 200 mg/L de azul índigo, a valores de hasta de 11.14 NTU. A pesar de esto, tiene mucho sentido que sucediese, debido a que la turbidez se relaciona directamente con los sólidos en suspensión, que aumentaron al momento de realizar la electrocoagulación de las aguas degradando el colorante.

A través del análisis del diseño factorial ejecutado (3x3x2), se determinó que las mejores condiciones de funcionamiento del prototipo fueron: un voltaje aplicado de 12 Voltios (a mayor voltaje mejor producción de gas), una concentración de peróxido de hidrógeno de 1200mg/L (en la concentración de 1800 mg/L la tendencia en producción de hidrogeno cae por la auto-descomposición del H_2O_2 en oxígeno y agua y por recombinación con radical hidroxilo) (Pey Clemente, 2010) y en presencia de luz UV (la luz UV evita la recombinación de hidroxilos y la formación de

complejos que podrían generar resistencia a la electrolisis (Gilpavas, Arbeláez, Sierra, White, Oviedo & Restrepo, 2008). Ver figura 2.

Se encontró que el hidrógeno es el gas con mayor concentración presente en la muestra de condiciones óptimas de funcionamiento del dispositivo con un porcentaje cercano al 39% y un tiempo de retención 0,671 min.

Los niveles de concentración de otros gases (nitrógeno y oxígeno) fueron considerables en la composición de la muestra, ya que representan otro 38% en V/V. La presencia de estos gases, son consecuencia de la ausencia de una membrana semipermeable que evitase la recombinación de los gases, no permitiendo así una separación y posterior almacenaje óptimo de los mismos. La alta concentración de nitrógeno, apunta a la mineralización y/o degradación del compuesto indólico, por el desprendimiento de los grupos amino (N-R-H) y, posteriormente, de la molécula de nitrógeno

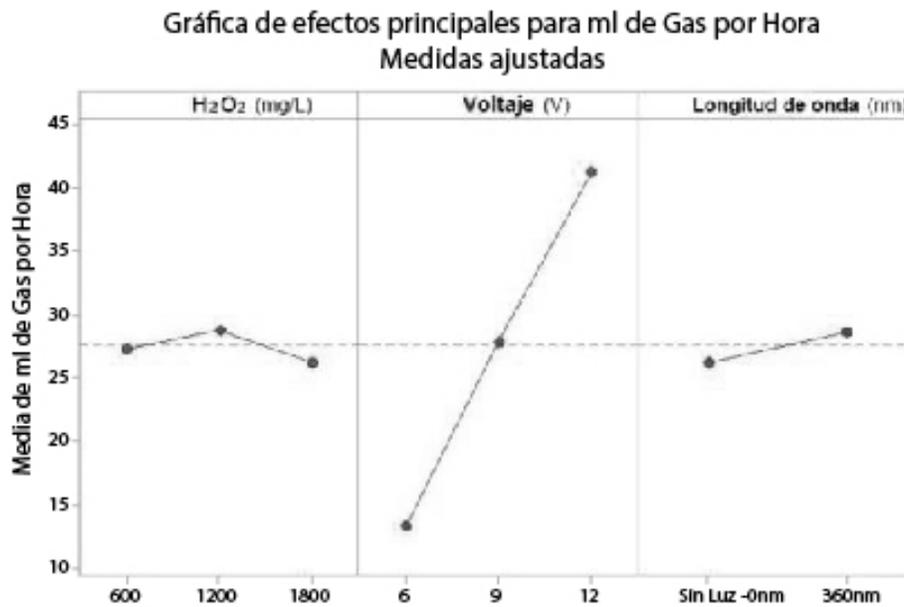


Figura 2. Gráfica de efectos principales para ml de gas por Hora. Fuente: Autores, 2016 a través del software MiniTab 17.01.

gaseoso (N₂) que seguramente se desprende del ánodo; ya que es resultado de una oxidación tal como sucede con el oxígeno gaseoso (O₂) desprendido.

La eficiencia calculada del dispositivo a través de la metodología descrita por (Bailón Martínez, 2013), estableció que el prototipo construido es útil en el tratamiento y reutilización de aguas residuales provenientes de la industria textil, pero no así en la generación de hidrógeno.

La eficiencia energética calculada (Tabla 1),

supone que el dispositivo demanda un coste energético mayor al que genera, no superando el 1%, con lo cual se hace necesario revisar con atención las posibles modificaciones al sistema y al dispositivo en general, con el fin de mejorar los niveles de producción del vector energético y disminuir los altos consumos de energía.

A través de observación perceptual, se logró contemplar la desaparición progresiva del color en todas las muestras sometidas al tratamiento, lo que demuestra que el

Tabla 1. Eficiencia energética del Prototipo.

Moles de hidrógeno (n)	Masa Estimada (g)	Energía del Hidrógeno (J)	Eficiencia Energética (%)
0,0000003521	7,04224E-07	0,099929437	0,000231318

Fuente: Autores, 2016

colorante sufrió una oxidación, ya que formó lodos que aumentaron los registros de turbidez y conductividad en la mayoría de los casos. Esto demuestra que el prototipo se perfila como una alternativa viable en el tratamiento de aguas residuales textiles coloreadas. Sin embargo, se debe procurar por mayor investigación y mejora continua en la tecnología por medio de la aplicación en contextos reales, en lo que refiere al tratamiento de aguas residuales (que podría generar interferencias) y el control de parámetros como las fuentes de energía (barata y sostenible), los materiales de construcción, la geometría y disposición del prototipo, el tipo de colorante a tratar e incluso los métodos analíticos para determinar la degradación de la materia orgánica. Todo ello ayudaría a mejorar la

producción de gas hidrógeno que luego podría ser destinado una fuente energética combustible en distintos sectores de la Industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango Ruiz, Á. (2005).** *La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales.* Revista Lasallista de Investigación, 2(1), 49–56.
- Bailón Martínez, A. (2013).** *Desarrollo de un sistema de generación de hidrógeno acoplado al tratamiento electroquímico de aguas superficiales utilizando energía solar.* Universidad Autónoma del Estado de México.
- Carvajal, J. (2011).** *Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales.*

Producción + Limpia, 6(2), 92–107.

Gilpavas, E., Arbeláez, E., Sierra, L.,

White, C., Oviedo, C., & Restrepo, P.

(2008). *Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales.* Cuadernos de Investigación. Universidad EAFIT, 65(1), 1–74.

Glaze, W. ., Kang, J. ., & Chapin, D. .

(1987). *The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation.* Ozone: Science & Engineering, 9(4), 335–3352.

Ospina Rendón, C., Montoya arango, J. A.,

& García palacio, J. A. (2007).

Oportunidades de producción más limpia en tintorerías del sector textil. Scientia Et Technica, XIII(37), 603–608.

Pey Clemente, J. (2010). *Aplicación de*

procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. Universidad Politecnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2241/>

tesisUPV2816.pdf?

sequence=1&isAllowed=y

Villa Gómez, K. (2013). *Estudio de la*

producción de hidrógeno mediante fotocatalisis heterogénea. Universitat

Autònoma de Barcelona. Retrieved from

<http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://>

search.ebscohost.com/login.aspx?

[direct=true&db=edstdx&AN=tdx.10803.125](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edstdx&AN=tdx.10803.125)

[976&lang=es&site=eds-live](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edstdx&AN=tdx.10803.125976&lang=es&site=eds-live)