

# **Desarrollo de un proceso eficiente para la obtención de hidrógeno a partir de la orina humana: Un estudio experimental (primera fase).**

Symonds Herrera, Alison Cristal; Martínez Calvo, Juan Pablo; Giovanna Abigail Jiménez Pérez; Jiménez Urby, Cinthya Andrea; De Urquijo Ventura, María del Pilar; Anaya Loyola, Luis Javier  
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Querétaro.

*ali.95.symonds@gmail.com*

**Recibido:** 26 de octubre de 2018

**Autorizado:** 30 de noviembre de 2018

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la construcción de un prototipo capaz de extraer hidrógeno a partir de la urea contenida en la orina humana, el diseño experimental tomó como base las variables inmersas dentro del proceso convencional de electrólisis. La metodología empleada partió del análisis de trabajos previos, donde se observó que la urea que contiene la orina humana es separada del hidrógeno mediante el rompimiento de los enlaces químicos utilizando una menor cantidad de energía, en contraste con los enlaces presentes en el agua y haciéndolo más económico. A través de la construcción de un prototipo para la experimentación a nivel laboratorio, permitió separar la urea contenida en la orina humana y extraer el hidrógeno como lo reporta la literatura. Los resultados de las pruebas experimentales demostraron que sí es posible la obtención del hidrógeno a partir de procesos más eficientes. Con la información obtenida, es posible el planteamiento de una etapa posterior, en la que se garantice es hacer más eficiente dicho proceso, a través del rediseño del mismo.

**Palabras claves:** Hidrógeno, Urea, Orina humana, Electrólisis

## **ABSTRACT**

The present research work aims at the construction of a prototype capable of hydrogen from urea contained in human urine, on the basis of design specifications and construction in electrolysis. The next stage is to make the process more efficient, through the redesign of the same. After developing two containers, one for storing the resulting gas and another that meets the safe ty to contain human urine.

The methodology departed from the analysis of previous work, where it was noted that human urine contains urea, which hydrogen through the breaking of chemical bonds can be removed using a lesser amount of energy to separate that element, in contrast to the links present in the water and making it more economical; leading to formulate the following assumptions where wonders is it possible to develop an efficient process to separate urea contained in human urine and extract hydrogen?, followed by the construction of the prototype, urine testing human and finally know the composition of the product obtained. Tests showed that the production of hydrogen is possible.

**Key Words:** Urea, hydrogen, electrolysis, human urine

## **1. INTRODUCCIÓN**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se empezó por analizar trabajos previos respecto a las energías renovables, principalmente sobre el hidrógeno y su proceso de obtención, encontrando algunos hallazgos.

Dentro de la revisión de documentos, se vio que la obtención es algo que ya se ha estudiado; sin embargo, la metodología varía, ya sea utilizando metano, agua u orina animal como materia prima, así como el diseño del reactor.

De ahí derivó todo en buscar la alternativa de incursionar más a fondo en la urea para obtener hidrógeno y conocer su proceso, descubriendo que esta se puede obtener de la orina humana.

Al saber esto, se procedió a profundizar en el tema, llegando al diseño, simulación y construcción de un prototipo de obtención del hidrógeno contenido en la orina humana.

Finalmente, se llegó a obtener resultados preliminares confirmando lo que se vio como hallazgo en la revisión teórica, teniendo ahora las evidencias que se integran en el presente documento.

En el presente estudio se realizó un análisis de trabajos previos donde se incluyen las características, componentes y aplicaciones de la orina humana, el hidrógeno y la electrólisis para tomarlo como referencia para mejorar el diseño del prototipo.

Para ello se consideró necesario partir desde algunos conceptos básicos e importantes como los que se listan a continuación:

### **Orina humana**

La orina está compuesta de un 96% de agua, 4% de sólidos en solución y aproximadamente 20 g de urea por litro (Sánchez, 2017). La urea se forma en el hígado y es producto final de las proteínas una vez que han sido descompuestas por el metabolismo.

De acuerdo a (Rivas, Pérez, & Amairani, 2016), la urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) tiene un peso molecular de 60.06 g/mol, 46.6% de contenido de nitrógeno, solubilidad a 20°C en agua de 108 g/100mL, 1.335 g/cm<sup>3</sup> de densidad de 20°/4°, punto de fusión a 133 °C y se presenta en gránulos blancos.

Aproximadamente, cada hombre desecha 1.4 litros de orina al día, comúnmente el color de este líquido oscila entre transparente y amarillo o amarillo pálido, una vez que sale de los riñones y pasa por la vejiga, es expulsado del cuerpo a través de la uretra, mediante el proceso de micción.

### **Usos de la orina**

Desde tiempos remotos, la orina ha tenido diversas aplicaciones como: la obtención de fósforo, amoníaco y nitrato de potasio (salitre), además de ser utilizada para el blanqueamiento de la ropa y los dientes, así como para curtir pieles de animales.

Actualmente con ayuda del avance tecnológico, la orina tiene un mayor número de aplicaciones como las que se mencionan a continuación.

La utilización de derivados de la orina para el tratamiento de infertilidad de las mujeres en donde expertos de la clínica de Fertilidad In Vitro del Hospital William Beaumont en Michigan (Quo, 2013). Los científicos emplean las hormonas segregadas por la glándula pituitaria para estimular las gónadas para inducir la ovulación en mujeres que no los producen de forma natural.

Para tratar enfermedades neurodegenerativas, Duanqing Pei, miembro de la Academia China de las Ciencias, ha encontrado la forma para extraer células humanas en la orina para reprogramarlas como neuronas (Quo, 2011).

Para absorber dióxido de carbono, la orina se mezcla con pasta centrifugada de aceitunas y este líquido filtra las emisiones del dióxido de carbono hasta reducirlas a un 1%. Esto se descubrió en el Instituto de Investigación y

Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía, por Manuel Jiménez Aguilar. Por cada molécula de urea se produce una molécula de bicarbonato amónico y otra de amoniaco.

Como fertilizante debido a su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, para cultivos extensivos es necesario el almacenar una gran cantidad de orina a una temperatura de entre 20 a 30° C, y por períodos prolongados (6 meses) para neutralizar la posible proliferación de microorganismos patógenos.

## Hidrógeno

Uno de los elementos que tiene el potencial de generar energía suficiente es el hidrógeno, dicho elemento químico es el más abundante en el universo con un contenido energético por cada unidad de masa de (33.3 kWh/kg H<sub>2</sub>) aproximadamente tres veces superior al de los combustibles comunes y teniendo como único residuo agua y calor, sin embargo, la obtención del hidrógeno es complicada por ser altamente explosivo.

Según la (Agencia Andaluza de la Energía, 2018), el 94% de la obtención de hidrógeno es a partir del metano, a gran escala el proceso es económico, sin embargo, el residuo es de 7 kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada kilogramo de hidrógeno, por lo tanto resulta ser más la cantidad contaminante al medio ambiente que la cantidad aprovechada.

## Aplicaciones del hidrógeno

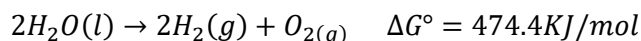
Como menciona Ortíz Alonso en su tesis “Análisis económico de la producción de hidrógeno mediante electrólisis de alta temperatura con energía nuclear”, una de la aplicación más común es como combustible debido a que presenta ciertas ventajas como: el contenido de energía por unidad de peso es mayor que cualquier otro combustible, al aire libre se quema en concentraciones que varían del 4 al 75% de su volumen, una combustión espontánea a temperaturas de 585°C y explota en concentraciones de entre el 13 y 64%; por el contrario del gas natural, el cual se quema al aire libre con una concentración del 5.4 y 15%, la temperatura de combustión espontánea es de 540°C y es más explosivo pues sólo requiere de una concentración de entre el 6.3 al 14%. Por lo tanto el hidrógeno como combustible es más seguro y permite una combustión más eficiente en máquinas de combustión interna a altas relaciones de compresión.

La aplicación más reciente del hidrógeno según (BBC News Mundo, 2018), es la creación del tren de hidrógeno llamado “Coradia iLint”, fabricado por TGV Alstom y vendido a Alemania para recorrer una ruta de 100 kilómetros entre pueblos y ciudades. El tren funciona gracias a celdas de combustible que producen electricidad mediante una combinación de oxígeno e hidrógeno, el excedente de energía es almacenada en baterías de litio, mientras que las ruedas del mismo son impulsadas por un motor eléctrico ubicado en el chasis.

Los beneficios de utilizar hidrógeno como combustible, hacen al Coradia iLint un trn único ya que es capaz de recorrer 1000 kilómetros (aprox.), utilizando únicamente un tanque de dicho elemento, el cual se recarga en tan sólo 15 minutos, no emite sonidos dañinos para los usuarios y lo mejor, sus residuos se limitan a vapor y agua.

## Electrólisis

El proceso de electrólisis del agua es algo que ya se ha estudiado previamente, no obstante, la aplicación energética de dicho proceso es sumamente interesante, pues como menciona (Chang, 2013, pp 843-845): “*la electrólisis emplea energía eléctrica para inducir una reacción química no espontánea*”, es decir, una reacción que no se lleva a cabo naturalmente, se puede forzar para que se realice en una celda de electrólisis con energía eléctrica. Esto es posible hacerlo con el agua separando el hidrógeno del oxígeno, la reacción se muestra a continuación:



Los principales componentes de una celda electrolítica son: ánodo, cátodo, conductor eléctrico metálico, electrolito y una fuente de poder.

El ánodo por definición es donde sucede la reacción oxidación y el cátodo es donde sucede la reacción de reducción, el conductor eléctrico se puede entender como un cable que conecta al ánodo con el cátodo, por otra parte, el electrolito permite la conducción de corriente con los iones disueltos y finalmente, la fuente de poder administra la energía necesaria para que se lleve a cabo la reacción, como se muestra en la figura 1.

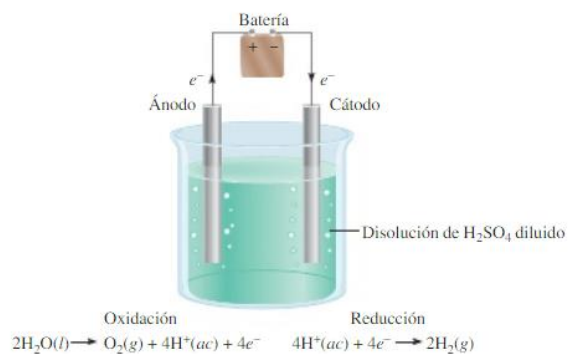


Figura 1: Diagrama de reacciones en electrodos durante la electrólisis del agua. Obtenido de Chang (2013)

A pesar de que la electrólisis del hidrógeno es algo conocido no se ha llevado eficientemente a la realidad para satisfacer las necesidades energéticas, una de las razones es que la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo el proceso y la energía obtenida al quemar el hidrógeno no resulta redituable para satisfacer dichas necesidades.

Es por eso que en el presente artículo se propone el proceso de electrólisis aplicando orina humana, debido al 3% de contenido de urea promedio en un adulto, la fórmula se presenta a continuación:

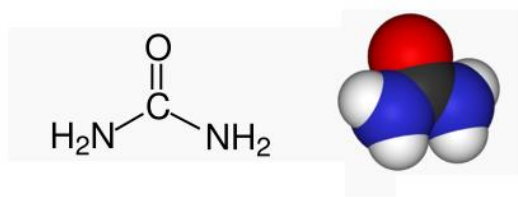


Figura 2. Fórmula de la composición de la urea. Obtenido de Chang (2013)

La urea optimizará el proceso debido a que los enlaces químicos que tiene el hidrógeno en la misma son más débiles en comparación a los covalentes que tiene el agua, esto significa que es menor la energía necesaria para separar el hidrógeno de la urea que del agua, sin mencionar que en una molécula de urea se contienen cuatro átomos de hidrógeno a comparación del enlace del agua.

El proceso de electrólisis de la urea es análogo al del agua, pero requiere de un catalizador de hidróxido de sodio. La eficiencia de la celda dependerá de diversos factores, desde la geometría de los electrodos, la separación del cátodo al ánodo, el grosor de los electrodos e incluso de que estén hechos.

De acuerdo a los principios de electrólisis, algunos aspectos importantes a tener en cuenta son:

- Chang (2013) menciona que nunca deben unirse los electrodos, ya que la corriente eléctrica no va a realizar el recorrido correcto y por lo tanto la batería se sobre calentará y quemará.
- Siempre debe utilizarse corriente continua, la corriente alterna tiene 60 ciclos por segundo por lo que se alterna positiva-negativa 60 veces por segundo, esto provocaría que el ánodo y el cátodo del reactor se inviertan entre si 60 veces por segundo, la corriente continua o directa como por ejemplo energía de baterías o de adaptadores de corriente siempre mantienen su polaridad igual.
- La combustión de hidrógeno tiene como producto final el agua aunque existen otros como el platino en forma de lana fina o polvo, en este caso debe hacerse con mucho cuidado, incorporando cantidades pequeñas de hidrógeno en presencia de oxígeno y el catalizador, de manera que el hidrógeno se queme suavemente, produciendo una llama tenue, de lo contrario podría ocurrir un accidente.
- El parámetro para ingresar a un catálogo y seleccionar el electrolizador adecuado es únicamente el flujo volumétrico de hidrógeno deseado a la salida del sistema.

De acuerdo al artículo escrito por (Jungwon Kim, 2013) demuestra que técnicamente es viable la electrólisis híbrida fotovoltaica de la orina, también concluyó que el tratamiento electrolítico de la urea en presencia de electrolito de cloruro de sodio produjo nitrato y amonio como productos principales.

Por otro lado, la electrólisis de la urea está siendo experimentada con diversos métodos de catalizadores, (Wei Yan, 2014) trabajó con catalizadores de níquel a granel en donde se muestra el potencial que tiene para la mayor producción de hidrógeno. En dicho estudio se desarrollaron electrocatalizadores de nanocables de níquel unidimensionales, dichos nanocables fueron fabricados y sintetizados exitosamente mediante la electrodeposición asistida con una plantilla de óxido de aluminio anódico. Finalmente, los nanocables de níquel son eficientes como catalizadores para la electrooxidación de urea para la generación de hidrógeno y la remediación de aguas residuales.

Además se han hecho celdas de combustible introduciendo determinados microbios a manera de catalizadores para producir hidrógeno donde también se requieren un suministro de energía externa pero en menor cantidad debido a la energía química extraída de los sustratos oxidados en el ánodo (Carlo Santoro, 2017).

También se han creado pilas que son alimentadas con orina y gracias a algunas celdas de combustible microbiano contenidas en envases cerámicos, han llegado a producir una potencia de 0.8 mW en un periodo de 622.6 horas de operación sin pausas, de acuerdo con lo reportado por Tremouli, Greenman, & Leropoulos, 2018. (Tremouli, Greenman, & Leropoulos, 2018)

Otra forma de producir hidrógeno a partir de la orina es mediante una reacción in situ utilizando polvo de aluminio activado, obteniendo un rango de 150 a 700 mililitros de hidrógeno por minuto y por un gramo de aluminio (Elitzur, Rosenband, & Gany, 2016).

De todo lo anterior se derivan las siguientes preguntas: ¿Cómo desarrollar un proceso eficiente para separar la urea contenida en la orina humana y extraer el hidrógeno?

## **2. METODOLOGIA**

El presente artículo es una investigación experimental de alcance exploratorio. Para el desarrollo de los experimentos fue necesaria la realización de un prototipo para demostrar la obtención del hidrógeno a partir de la orina humana.

La metodología que fue utilizada, tal como lo propone Sampieri en donde se plantea el problema, se desarrolla la perspectiva teórica para después la elaboración del marco teórico. En la figura 2.1 se muestra el diagrama de la metodología empleada.

Se realizó un prototipo inspirado en la patente de William Rhodes, Spring Ernest y Brown Yull que hablan sobre un reactor para la separación del agua destilada en sus componentes de hidrógeno y oxígeno, posteriormente mejorado por Bob Boyce, George Wiseman, por lo tanto, el prototipo actual se compone por conductor eléctrico en este caso son placas de una aleación de acero resistentes a la corrosión que están separadas por empaques hidráulicos industriales que a su vez forman un contenedor interno donde se depositará la urea (el electrolito), además de incluir un sistema de recirculación que evita que los sólidos de carbonato se adhieran a las placas, interrumpiendo el flujo de corriente eléctrica que atraviesa las mismas, forzando los precipitados a moverse en el sistema de recirculación.

El reactor construido es un dispositivo por el cual se puede generar electricidad (celda galvánica) o por el contrario, al suministrar una corriente eléctrica (celda electrolítica) produce reacciones químicas, “reacciones redox” donde ocurre una transferencia de electrones entre las sustancias presentes en la celda.

Como se muestra en la figura 3, se compone principalmente de 2 placas de acrílico en los extremos, 20 placas de acero inoxidable de 20 cm x 20cm, o rings ubicados entre cada placa, así como entre los acrílicos, sellador, tornillos de acero inoxidable a manera de ánodo y cátodo, couples, espigas de pescado, mangueras, 1 contenedor para la orina, una bomba de pecera para la recirculación del líquido y una fuente de poder.

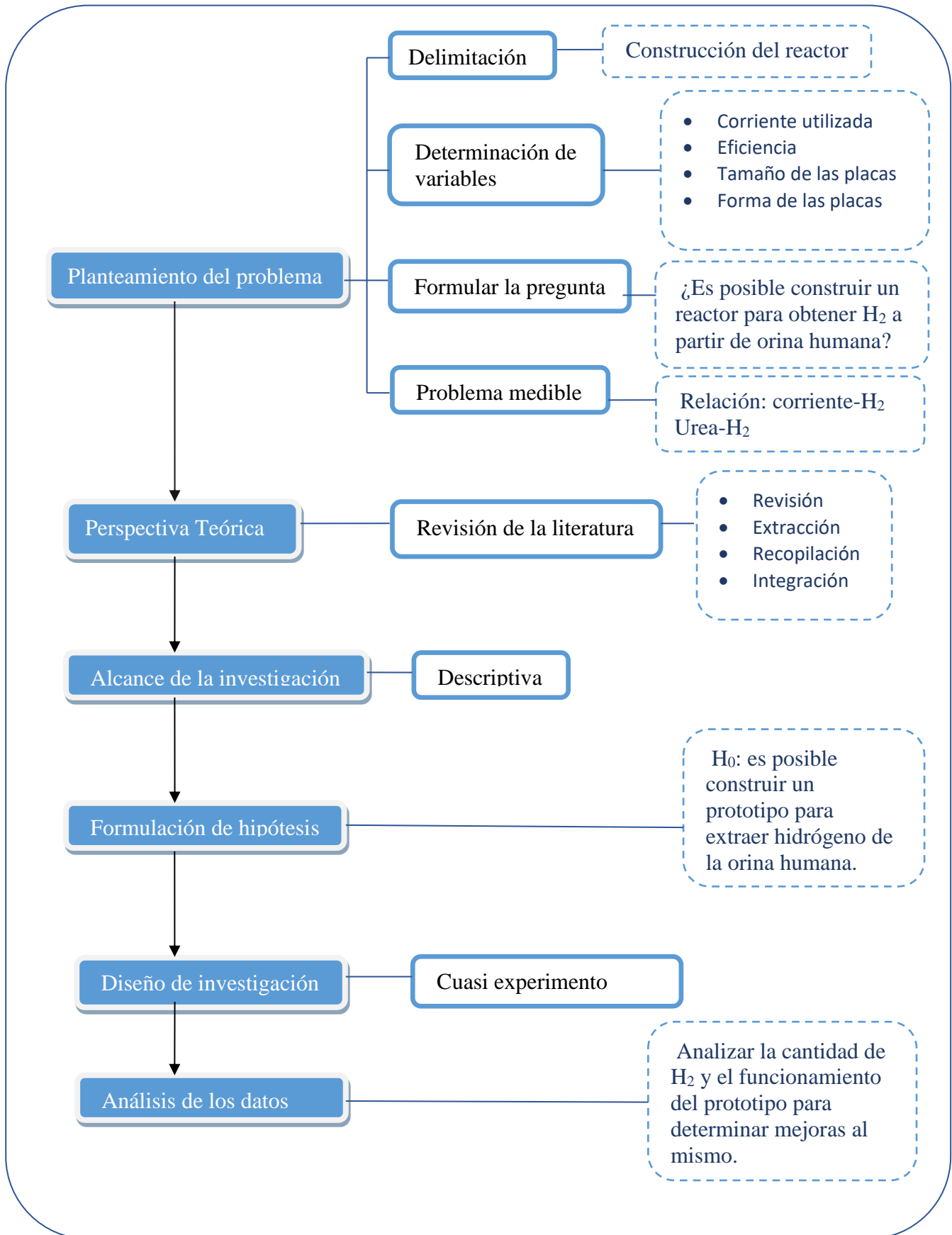


Figura 2.1 Diagrama de metodología empleada según Sampieri.

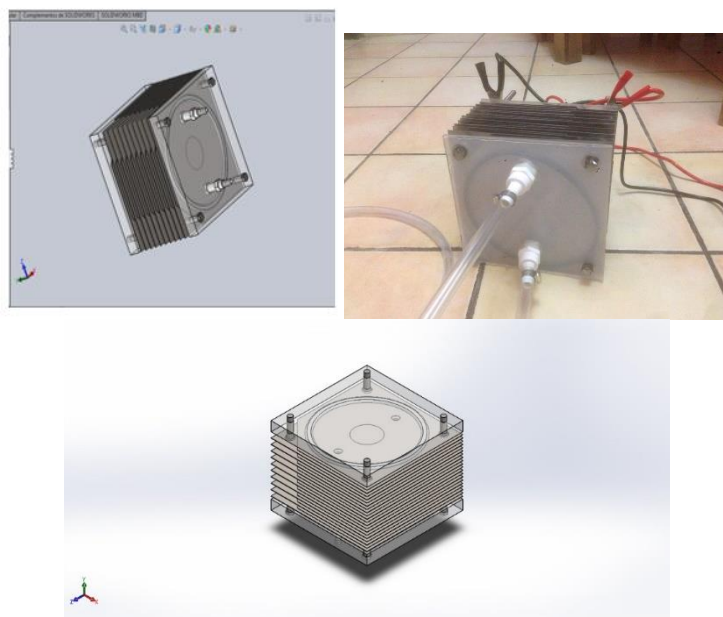


Figura 2.2 Reactor de electrólisis. Diseño Propio.

Las placas tienen 3 orificios para la entrada de urea y para la salida del hidrógeno en donde el reactor transforma la urea en hidrógeno a través del paso de una corriente eléctrica que fluye por las placas y por el electrolito; éste cierra el circuito eléctrico, desencadenando las reacciones redox entre la urea y el catalizador logrando así la separación de moléculas de hidrógeno de las moléculas de urea.

El catalizador aumenta la cinética de reacción, además de atrapar moléculas de carbono desprendidas evitando que se combinen con moléculas de oxígeno formando dióxido de carbono, en su lugar forman una sal que se precipita en el fondo de la celda.

Se realizó orina artificial considerando sólo las concentraciones en un litro de orina que genera un adulto promedio de urea (20g), además para fines de la prueba experimental se agregó hidróxido de potasio (92.4g) con el objetivo de que el mismo funcione a manera de catalizador y precipitador de carbonatos para evitar la formación de dióxido de carbono y no limite la liberación de hidróxido, en la siguiente imagen se representa el comportamiento de la electrólisis directamente en la urea, la espuma blanca es dióxido de carbono que limita la liberación de hidrógeno y la capa gris son los sedimentos que se generan.

Para las reacciones cuantitativas se utilizará la ley de Faraday, (Benson, 2017, pp. 152-153) menciona que “*la cantidad de reacción química que ocurre en cada electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que ha pasado a través de la disolución*”.

Para relacionar la energía necesaria que interactuará con las moléculas se manejan en dicha ley, representa el equivalente de electricidad que es igual a 1 faradio y a su vez es igual a 1 mol/electrón, como se observa en las siguientes equivalencias:

1 equivalente de electricidad = 1 faradio = 1 mol electrón

1 faradio = 96500 culombios

1 amperio = culombio/segundo

Culomb= (amperio)(segundo)

Por lo tanto, un equivalente de hidrógeno es igual a 1 gramo de hidrógeno, lo que es igual a 11.2 litros de hidrógeno a temperatura y presión normal (25°C y 1 atmósfera).

1 eq. De H<sub>2</sub> = 1g H<sub>2</sub> = 11.2Lt a TPS de H<sub>2</sub>

Teóricamente, al enviar corriente a 15 amperes por un minuto se obtienen 900 coulombs, por lo que da como resultado 0.104 litros de hidrógeno por minuto. Sin embargo no sólo libera hidrógeno, también se cuenta con

nitrógeno, por lo que a 15 amperes y 12 volts se obtienen teóricamente 8.76 litros por hora de nitrógeno e hidrógeno, de los cuales sólo 6.26 litros son de hidrógeno.

### 3. RESULTADOS.

A través del prototipo, se confirma que se puede obtener hidrógeno de la orina humana gracias a la urea contenida en ella.

Los gases obtenidos de la experimentación se almacenaron en un globo tamaño estándar, al ser inflado por los gases se tuvo un radio de 12.3 cm; por lo tanto, se calculó el volumen del gas contenido dentro con ayuda de una esfera, por lo que da como resultado un total de 7.79 litros, de los cuales sólo 5.23 litros son de hidrógeno por hora a 15 amperes y 12 volts.

Considerando que el 100% es de 6.26 litros de hidrógeno teóricos y que lo obtenido de la experimentación fueron 5.23 litros, se tiene una eficiencia del 83.45%.

Por otro lado, se realizó una simulación en SolidWorks respecto al análisis del comportamiento térmico del prototipo, por lo que de acuerdo a las condiciones del prototipo, se transfiere 50° Celsius a lo largo de todo el Ánodo y el Cátodo, generando una transferencia de calor por convección entre las placas y los acrílicos del prototipo como se observa en la figura 3.1

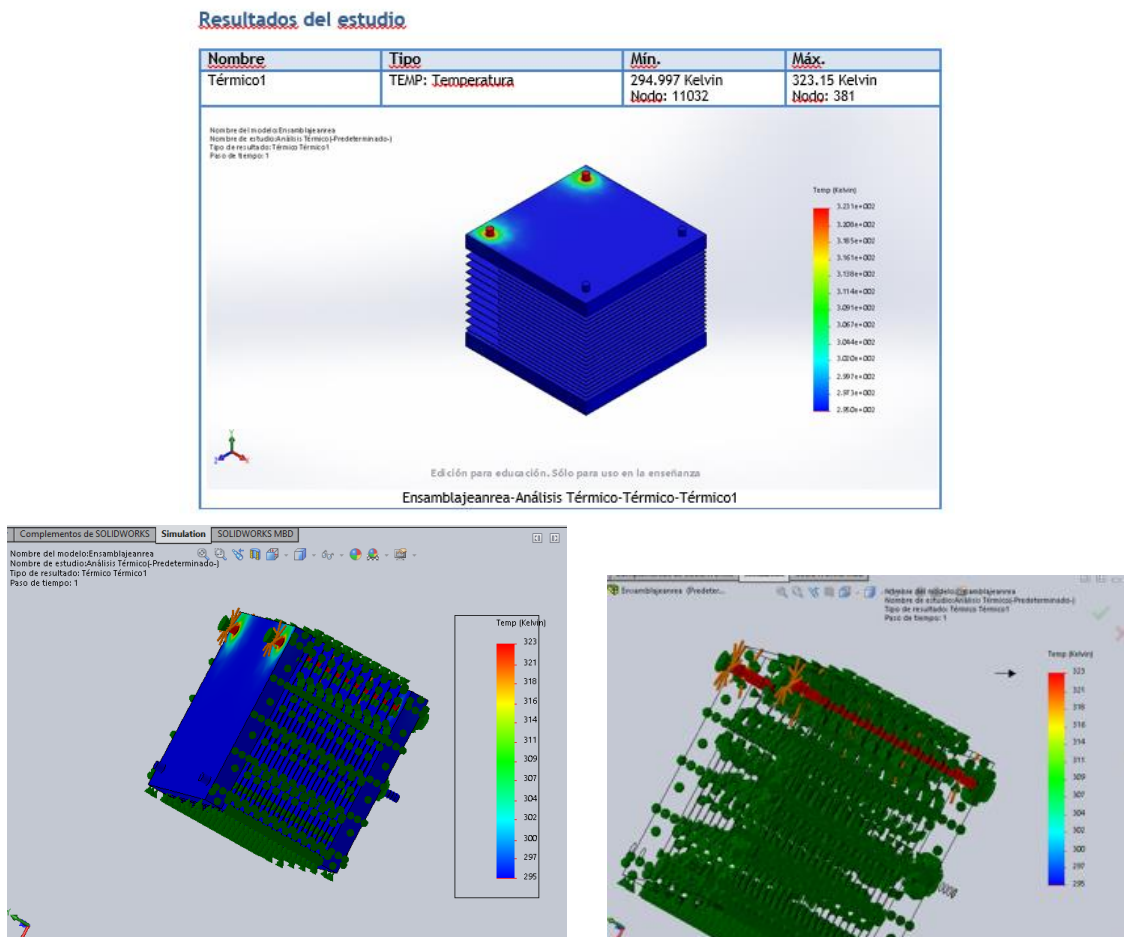


Figura 3.1. Simulación de análisis térmico del reactor de electrólisis. Diseño Propio.

Es importante mencionar que las placas de acero inoxidable no sufren algún tipo de deformación al estar expuestas a altas temperaturas gracias a que presenta movimiento de fluido constante entre placa y placa; disminuye la temperatura y se comportan las placas como un disipador de calor.



La simulación muestra también, que mientras se mantengan esos 15A constantes fluyendo mediante el ánodo y cátodo, esta transferencia de calor va a ir aumentando llegando a 100°C, afectando principalmente al acrílico primario y secundario, ya que ellos son los que reciben la mayor transferencia de calor y por ser un polímero es más fácil que lleguen a deformarse por tan altas temperaturas a la que estarán expuestas.

#### **4. DISCUSION**

Mediante la estrategia de experimentación utilizada fue posible la extracción del hidrógeno de la urea. Sin embargo, no se obtuvo el volumen teóricamente calculado de dicho elemento, dando como resultado una eficiencia del 83.45%, por lo que el prototipo puede mejorarse de tal manera de prevenir las posibles causas de ese hecho, como posibles fugas del gas o tal vez, sustituyendo el recipiente en el que se depositó por otro que sea más práctico y exacto para medir el volumen, además de redimensionar las placas para evitar pérdidas de energía en las esquinas.

Otro de los hallazgos es que se puede cambiar el acero inoxidable por placas de níquel, el cual es más afín al hidrógeno ayudando a la eficiencia de transferencia de la reacción, así como sustituir el acrílico por otro material resistente a altas temperaturas como el polietileno de alta densidad o por otra placa de acero inoxidable o níquel.

Inclusive se probar con el número de placas que componen el reactor, realizando el experimento con 10 o 15 placas, así como el tamaño de las mismas para saber cuánto hidrógeno se obtiene en cada prueba.

Finalmente, en cuanto a la sustentabilidad del prototipo, se podría implementar un panel solar que suministre la energía requerida.

Todo lo anterior se puede realizar en pruebas experimentales posteriores.

#### **5. CONCLUSIONES Y/O PROYECTOS FUTUROS.**

Una vez obtenidos los resultados anteriores, se confirma que es posible obtener mayor cantidad de moléculas de hidrógeno a partir de la orina humana en comparación de las obtenidas en el agua. Lo cual se puede mejorar a través del rediseño para incrementar la eficiencia del prototipo.

Ahora, se vuelve interesante saber a través de otra investigación, si existe diferencia de productividad entre la orina proveniente del hombre o de la mujer para tener una mejor fuente de materia prima.

Claro que esto se podría responder después de hacer más eficiente el prototipo y buscar alternativas de materia prima económicas y que proporcionen sustentabilidad previendo que se está en un primer paso con respecto al presente desarrollo.

Por último se considera que la investigación ha dado frutos y ha abierto nuevas posibilidades de investigaciones posteriores para darle mayor profundidad en el tema

#### **6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Agencia Andaluza de la Energía. (2018). *Energía del hidrógeno*. Obtenido de Agencia Andaluza de la Energía: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/energias-renovables/ciudadania/energia-del-hidrogeno>
- Álvarez Huari, K. F., & Cabezas Sánchez, S. (2017).

- BBC News Mundo. (18 de septiembre de 2018). *Así funciona el tren de hidrógeno que inició operaciones en Alemania, el primero en entrar en servicio comercial en el mundo*. Obtenido de BBC News Mundo: <https://www.bbc.com/mundo/amp/noticias-45552735>
- Benson, S. W. (2017). Relaciones cuantitativas, ley de Faraday. En S. W. Benson, *Cálculos Químicos: Una introducción al uso de las matemáticas en la química* (págs. 152-153). México: Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Carlo Santoro, K. A. (2017). Celulas de combustible microbianas: de fundamentos a aplicaciones. Una revisión. *Diario de fuentes de poder*, 225-244.
- Chang, R. (2013). Electrólisis. En R. Chang, *Química* (págs. 843-845). D.F. México: Mc Graw Hill.
- Elitzur, S., Rosenband, V., & Gany, A. (2016). La orina y el aluminio como fuente de hidrógeno y energía limpia. *Revista Internacional de Energía de Hidrógeno*, 11909-11913.
- Jungwon Kim, W. J. (1 de enero de 2013). Electrolysis of urea and urine for solar hydrogen. *Catalysis Today*, 2-7. Obtenido de ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com.conricyt.remotexs.co/science/article/pii/S0920586112000739>
- Quo. (21 de octubre de 2011). *Ciencia Micción*. Obtenido de Quo: <http://www.quo.es/salud/ciencia-miccion/ciencia-miccion>
- Quo. (21 de noviembre de 2013). *Lo que no te contaron de la orina*. Obtenido de Quo: <http://www.quo.es/salud/lo-que-no-te-contaron-de-la-orina>
- Rivas, D., Pérez, D., & Amairani, D. (2016). La orina humana como fertilizante del futuro. *XXVII CONGRESO DE INVESTIGACIÓN CUAM-ACMor*. Morelos, México: <http://acmor.org.mx/cuamweb/reportescongreso/2016/prepa/ambientales/313laorinacomofertilizante.pdf>.
- Sánchez, K. F. (2017). *Optimización de la electrólisis de la orina humana para obtener hidrógeno como combustible usado como catalizador cloruro de sodio*. Obtenido de Universidad Nacional del centro del Perú: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3782/Alvarez%20Huari-Cabezas%20Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tremouli, A., Greenman, J., & Leropoulos, L. (2018). Investigación de pilas de MFC cerámicas para extracción de energía de orina. *Bioelectroquímica*, 19-25.
- Wei Yan, D. W. (10 de julio de 2014). Nanohilos de níquel como catalizadores efectivos para la electrooxidación de urea. *Electrochimica Acta*, 266-271. Obtenido de Science Direct: <http://www.sciencedirect.com.conricyt.remotexs.co/science/article/pii/S0013468614006471>