

Estudio de los parámetros experimentales de impresión de un prototipo de impresora 4D

Study of the experimental printing parameters of a 4D printer prototype

Aguilar Pérez Carlos Eduardo¹, Guzmán González Ximena Berenice², Jaime Villanueva Astrid Yunuen Lorelai³, Murillo Girón Alan⁴, Wilma Betzabeth Rojas Salinas⁵, Hernández Rodríguez Eric Noé^{6*}

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, carretera Salamanca - Valle de Santiago km 3.5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, C.P. 36885, Salamanca, Guanajuato, México.

ce.aguilarperez@ugto.mx¹, xb.guzmangonzalez@ugto.mx², ayl.jaimevillanueva@ugto.mx³, a.murillogiron@ugto.mx⁴, wilma.rojas@ugto.mx⁵, noe.hernandez@ugto.mx⁶

*Asesor del proyecto

Resumen

La impresión 4D también conocida como bioimpresión recurre a impresoras 3D para crear objetos tridimensionales vivos a través de la deposición programada por computadora. Lo hace utilizando materiales inteligentes, que pueden programarse para que tras su fabricación el producto reaccione y pueda cambiar de forma, color o tamaño cuando reciben un estímulo externo. Es el caso de resinas de hidrogel, polímeros activos o, incluso, tejidos vivos. Se imprimen en 3D con un diseño específico, que al paso del tiempo y al entrar en contacto con la humedad, la luz, la presión o la temperatura, entre otros factores, evolucionan hasta lograr el acabado previsto. La impresión 4D hace posible que un objeto, por ejemplo, pueda doblarse, repararse, ensamblarse o incluso desintegrarse a sí mismo. Adquiere una nueva forma o funcionalidad por sí solo, reaccionando con el entorno.

Este proyecto se ha basado en el prototipado de una impresora 4D con ayuda de la estructura de una impresora 3D usando un material inteligente, en este caso dos hidrogeles, uno elaborado por el grupo de trabajo con respecto a la experiencia y el otro proporcionado por un artículo, ambos responden al agua. Para lograr que, con el paso del tiempo, bajo las condiciones requeridas, nuestro prototipo se mueva a otra configuración, a través de un diseño ingenioso de la pieza, logramos implementar el material sensible al agua en nuestro prototipo de impresora 4D, dando como resultado una impresora con la que podemos generar diseños de especímenes inteligentes. El trabajo del grupo involucró varias etapas. Comenzando por una exhaustiva investigación sobre los principios activos de los hidrogeles con los que se trabajarían, para caracterizarlos de acuerdo con nuestra conveniencia y una serie de pruebas para analizar el comportamiento al imprimir, una vez secos y bajo el estímulo. Posteriormente se analizaron los factores clave a considerar en el diseño de la impresora principalmente en la extrusión del material puesto que este es viscoso y semilíquido a temperatura ambiente por lo tanto la extrusión tradicional de empujar el material y calentarlo en el fusor debía ser remplazado. Se implementó una extensión de cable para dejar de lado el extrusor de la impresora 3 y se diseñó un dispositivo impreso con PLA, un motor y una jeringa que proporciona el material inteligente (hidrogel) a la impresión hasta salir por una boquilla de jeringa adaptada como extrusor. Finalmente, se imprimieron algunas geometrías y aplicando el estímulo apropiado, en este caso agua, obtuvimos una respuesta favorable, permitiendo que el prototipo cambie de forma conforme a lo planeado.

Palabras clave: hidrogel; prototipo; 4D.Introducción

El inicio de la impresión 3D y la combinación de materiales inteligentes ha llevado al desarrollo de una nueva y emocionante tecnología llamada impresión 4D. La impresión 4D tiene la perspectiva de generar estructuras estáticas, que después al ser expuestas a un estímulo determinado, comienzan a cambiar de forma o función en el tiempo. Los materiales que pueden utilizarse para la impresión 4D son actualmente limitados y requieren un mayor desarrollo ya que necesitan ser capaces de responder a distintos estímulos. Los materiales inteligentes son esenciales para el desarrollo de la investigación de impresión 4D, sin embargo, no todos los materiales inteligentes pueden ser impresos por la 3D. Además, los materiales inteligentes requieren conservar su forma al imprimirse para ser importantes para investigaciones de impresión 3D. Muchos materiales naturales y artificiales responden a cambios en la humedad por contracción o hinchazón. Esto



puede observarse en situaciones tan variadas como la contracción e hinchazón de la madera como respuesta a la humedad, las ondulaciones del papel humedecido, las curvaturas de hojas caídas y secas, las arrugas de la piel mojada, el marchitamiento de las flores, el movimiento de las aristas del trigo (Elbaumet al. 2007), o como en el caso particular de los hidrogeles, donde se hinchan al tener el mínimo contacto con la humedad he incrementan en gran medida sus dimensiones. Materiales que pueden adaptarse y responden a entornos exigentes dan como resultado una mejora en las funcionalidades evaluadas. Cuando se usan materiales autocurativos, la longevidad del objeto impreso en 4D reduce la necesidad de costosas reparaciones o colocaciones. Estos avances en materiales AM (fabricación aditiva) pueden ofrecer una excitante solución a problemas que normalmente requerirían la intervención humana, e incluso, evitar el contacto del ser humano con ambientes extremos, por ejemplo, en componentes utilizados en el espacio exterior.

Shannon E Bacarich y sus colaboradores desarrollaron un nuevo tipo de tinta de impresión 4D hecha de hidrogeles de entrelazamiento covalente iónico con una estructura comparable a los hidrogeles normales de doble red, donde la primera red de polímeros está unida por cationes metálicos mientras que la segunda está unida por enlaces covalentes. Este hidrogel es posteriormente templado y accionado térmicamente por una red en pruebas de laboratorio mostrando una recuperación de la forma del 41 al 49% cuando la temperatura se elevó de 20 a 60 grados Celsius y luego regresó a 20 grados Celsius. Posteriormente, una válvula inteligente de control de fluidos hecha de este material fue desarrollada para cerrarse cuando entró en contacto con agua caliente y abrirse cuando entró en contacto con agua fría. La válvula permaneció efectivamente abierta en agua fría mientras reducía la tasa de flujo de agua caliente en un 99%, este nuevo tipo de hidrogel impreso en 4 es mecánicamente más fuerte que los hidrogeles convencionales de accionamiento térmico y tiene aplicaciones en estructuras de auto ensamblado, tecnología médica robótica blanda y tecnología de sensores.

La impresión 4D será de ayuda en un futuro para los sectores industriales, los sistemas se han explorado para incluir avances en el monitoreo de la salud, dispositivos eléctricos, robótica blanda y metamateriales sintonizables e industria aeroespacial.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron dos tipos diferentes de hidrogeles, uno (hidrogel 1) a base de celulosa, ácido cítrico, agua destilada y calentamiento con experiencia previa de Wilma Rojas, integrante del equipo de trabajo, y otro (hidrogel 2) a base de arcilla o bentonita (9.7%), agua desionizada (7.8%), monómero (77.6%) y celulosa (0.73%), tomado del artículo en las referencias [3]. Para las pruebas de impresión se utilizó la impresora modelo tronxy D01, la cual fue modificada al reemplazar el sistema de extrusión por un sistema de inyección tomado del artículo en las referencias [4] como contenedor se utilizó una jeringa de 20 ml, un normo gotero como conducto de inyección, una aguja calibre 18 g y una base desarrollada por el grupo de trabajo para empotrar el sistema de inyección. El objetivo de estas pruebas fue determinar las propiedades de los hidrogeles en función del tiempo, geometría, temperatura y humedad. Para realizar las pruebas se procedió a preparar ambos hidrogeles, con base a ello se realizaron pruebas para determinar los parámetros deseados para obtener las figuras y realizar las adaptaciones en los parámetros del software que utilizamos para modelar las geometrías deseadas, este proceso se repitió con cada una de las diferentes muestras para así tener un perfil más claro de las características de cada una, habiendo obtenido cada perfil de cada muestra se procedió a la implementación de diversas geometrías para observar el comportamiento de cada muestra con el tipo de geometría.

Resultados y discusión

PROTOTIPO DE IMPRESORA

Para el diseño de la máquina partimos de una impresora 3D modelo Tronix D01 figura [1] la cual modificamos al retirar el cabezal de extrusión, posteriormente fabricamos el sistema de inyección y adaptamos el motor que proveía el PLA al sistema de inyección para mantener los parámetros de la impresora con respecto al motor, como se muestra en la figura [2], para el sistema de inyección diseñamos un soporte el cuál nos

permitiera empotrar la aguja de inyección manteniendo la distribución de los agujeros pilotos, el diseño fue pensado para facilitar el manejo, ver figura [3].

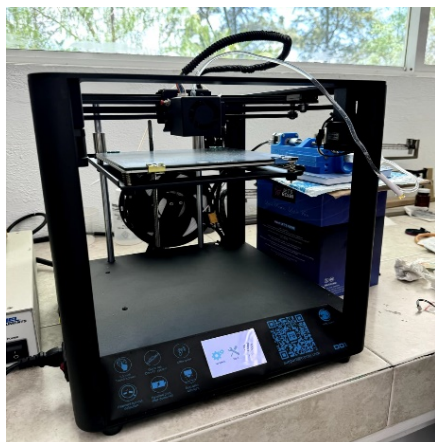


Figura 1. Estructura de impresora utilizada.

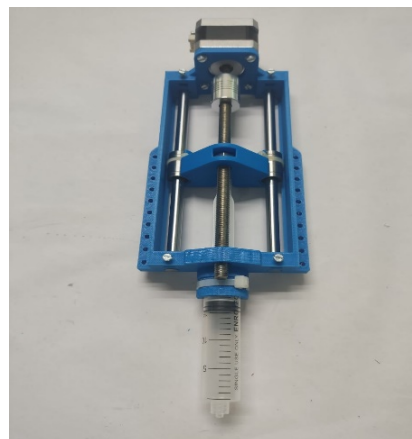


Figura 2. Sistema de inyección

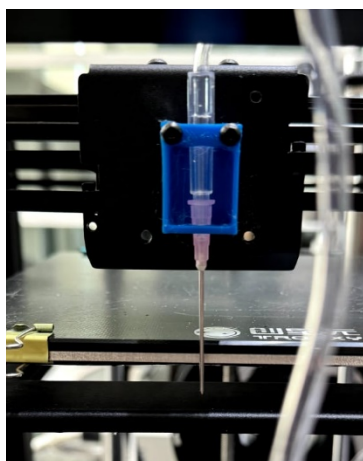


Figura 3. Sistema de inyección

HIDROGELES

En esta investigación se utilizaron dos tipos diferentes de hidrogeles: [hidrogel 1] uno a base de celulosa, ácido cítrico, agua destilada y calentamiento, el cual presenta una consistencia muy viscosa, al igual que pegajosa, difícil de trabajar, y una tonalidad traslúcida, como se muestra en la figura [4]. [hidrogel 2] a base de arcilla o bentonita (9.7%), agua desionizada (7.8%), monómero (77.6%) y celulosa (0.73%), presentó una consistencia gelatinosa fácil de trabajar, con tonalidades grisáceas, ver figura [5].



Figura 4. Hidrogel celulosa



Figura 5. Hidrogel arcilla.

PRUEBAS DE IMPRESIÓN

En la fase de pruebas, comenzamos con inyecciones manuales para determinar el comportamiento de los dos hidrogeles con geometrías simples analizando qué tanta fluidez y resistencia presentaban en inyección, ya que esto representa un factor de importancia para determinar los parámetros de rapidez de impresión y con base a los resultados modificar la composición de los hidrogeles, y de la misma forma analizar el comportamiento de las diferentes muestras, tomando en cuenta su tiempo de secado, el cambio de densidad y el cambio de posición, tanto en deshidratación como en hidratación.

[hidrogel 1] Se realizó una malla cuadriculada para analizar el comportamiento de las uniones, presentó una definición buena en secado, pero en hidratación perdió definición y su estructura, aunado a ello, la resistencia a la inyección fue alta, como en la figura [6]. [hidrogel 2] Se realizaron diversas geometrías en las cuales presento una evidente pérdida de masa, las cuales provocaron la separación entre líneas, su inyección fue sencilla y no presento mayor resistencia, su definición fue buena, ver figura [7].



Figura 6. Geometrías con hidrogel celulosa



Figura 7. Geometrías con hidrogel arcilla

En hidratación se lograron los siguientes resultados: [hidrogel 1] como se observa perdió la definición inicial y al paso del tiempo se diluyó con el agua hasta ser una masa gelatinosa, figura [8]. [hidrogel 2] como se observa al hidratar, las uniones se perdían, pero con un favorable cambio de posición, generando una contracción, tendiendo a figuras circulares, figura [9].

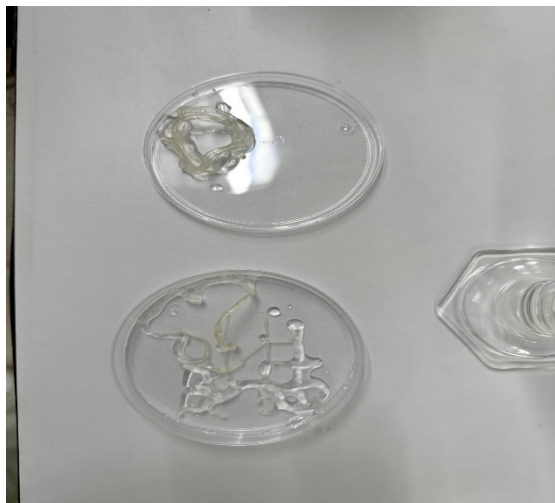


Figura 8. Geometrías con hidrogel celulosa hidratadas

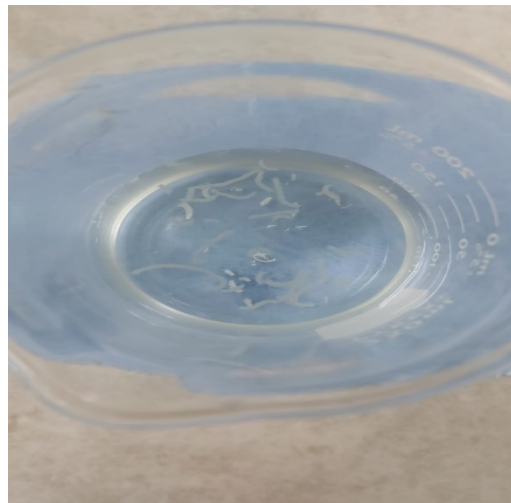


Figura 9. Geometrías con hidrogel arcilla hidratadas

Posterior a esto, lo que se buscó fue observar la relación del manejo de las muestras en impresión. Después de realizar estas pruebas llegamos a varias conclusiones, ya que de cada muestra obtuvimos comportamientos diferentes. [hidrogel 1] la impresión fue más complicada de manejar, ya que perdía definición conforme al paso del tiempo, al estar completamente seco perdió todo su volumen reduciéndose a una fina lámina y al volver a hidratar perdía en su totalidad la definición, figura [10]. [hidrogel 2] Su impresión fue muy fluida, se lograba tener una fluidez del hidrogel bueno. Su definición se destacó por la buena definición que se obtuvo. En su secado total no hubo una pérdida de volumen excesiva y al hidratar no perdió definición figura [11].



Figura 10. Pétalo [hidrogel 1]

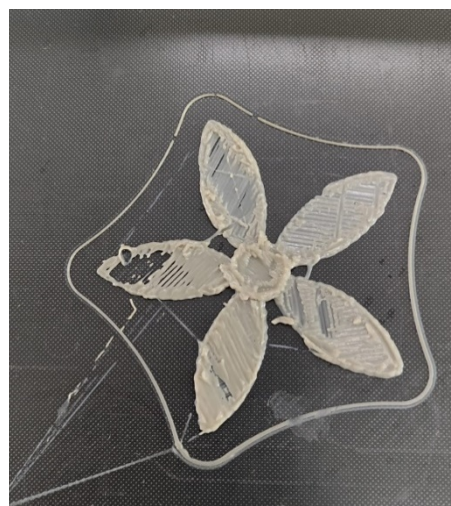


Figura 11. Flor [hidrogel 2]

CONCLUSIONES

Gracias a la investigación, caracterización y elaboración de los hidrogeles, logramos adecuar los parámetros de impresión para utilizar la carcasa de una impresora 3D, sustituyendo el dispositivo extrusor. Esto se debe a que la viscosidad de este material inteligente, a diferencia del PLA, no permite su extrusión de forma convencional y, en cambio, facilita la impresión a temperatura ambiente. Al realizar las pruebas correspondientes y obtener un filamento similar al que se emplea con materiales convencionales de impresión 3D, y las geometrías diseñadas en la computadora, concluimos que nuestro prototipo de impresora funcionó adecuadamente.

Además, fue posible obtener dos tipos de hidrogeles que responden a la humedad. Al ser impresos, estos hidrogeles duplican su diámetro y cambian sus dimensiones cuando se secan. El primer hidrogel varía su geometría según el diseño, mientras que el segundo mantiene su forma incluso cuando se humedece y se seca.

En resumen, nuestro estudio demuestra la viabilidad de imprimir hidrogeles con una impresora 3D modificada (impresión 4D) abriendo nuevas posibilidades para el uso de materiales inteligentes en aplicaciones avanzadas de manufactura aditiva.

Referencias

- [1] Henríquez, C. M. G., Sarabia, M. A., & Hernández, J. R. (2018). Polímeros utilizados para impresión 4D y algunas aplicaciones. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, 116(736),1.
- [2] Sabry, F.(2021). Impresión 4D: Espere un segundo,¿ dijo impresión 4D? (Vol. 2). One Billion Knowledgeable.
- [3] Sydney Gladman, A., Matsumoto, E., Nuzzo, R. *et al.* Biomimetic 4D printing. *Nature Mater* **15**, 413–418 (2016)
- [4] Manu C. Mulakkal, Richard S. Trask, Valeska P. Ting, Annela M. Seddon, Responsive cellulose-hydrogel composite ink for 4D printing, *Materials & Design*, Volume 160, 2018