

## Impresión 4D: desarrollo y estudio de especímenes inteligentes

Aguilar Perez Carlos Eduardo<sup>2</sup>, Guzman Gonzalez Ximena Berenice<sup>1</sup>, Jaime Villanueva Astrid Yunuen Lorelai<sup>2</sup>, Lopez Gutierrez Diego<sup>1</sup>, Martinez Villegas Carlos Francisco<sup>1</sup>, Murillo Giron Alan<sup>2</sup>, Hernández Rodríguez Eric Noé<sup>4</sup>, Peñuela Cruz Cristian Esneider<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

<sup>2</sup> Licenciatura en Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

<sup>3</sup> Doctorado en Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato  
ce.aguilarperez@ugto.mx, xb.guzmangonzalez@ugto.mx, ayl.jaimevillanueva@ugto.mx, d.lopezgutierrez@ugto.mx, cf.martinezvillegas@ugto.mx, a.murillogiron@ugto.mx, noe.hernandez@ugto.mx, ce.penuelacruz@ugto.mx.

### Resumen

La impresión 4D figura un avance significativo que posibilita que una estructura impresa adquiera la capacidad de cambiar su forma o función con el tiempo en respuesta a un estímulo específico, como la presión, la temperatura, el agua, la luz entre otros. Recientemente, los rápidos avances en los procesos de impresión y el desarrollo de materiales para la impresión 3D han permitido la impresión de materiales inteligentes o multimateriales diseñados específicamente para cambiar de función o forma de manera controlada. En este contexto, aunque es similar a la tecnología de impresión 3D, la tecnología de impresión 4D agrega la cuarta dimensión del tiempo, lo que da pie a un mundo de nuevas posibilidades y aplicaciones en diversos campos. En este proyecto, hemos abordado la impresión 4D con un enfoque innovador al sustituir un material inteligente por uno usado comúnmente en la impresión 3D como el PLA en combinación con otro material que responde a un estímulo específico, en este caso hidrogel, que responde 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, dando como resultado un espécimen inteligente. Nuestro trabajo involucró varias etapas. Comenzando por una exhaustiva investigación sobre los principios de la impresión 4D y una serie de pruebas para analizar el comportamiento de crecimiento de las esferas de hidrogel. Posteriormente analizamos los factores clave que consideramos en el diseño del prototipo para su impresión. Finalmente, unimos ambos materiales y aplicando el estímulo apropiado obtuvimos una respuesta favorable, permitiendo que el prototipo cambie de forma conforme a lo planeado.

**Palabras clave:** materiales inteligentes, hidrogel, PLA.

### Introducción

La impresión 3D, o también conocida como la técnica de fabricación aditiva (AM) es un proceso en el cual se fabrican objetos mediante el depósito de capas de material unas sobre otras. Los inicios de la impresión 3D son establecidos oficialmente en 1986 cuando Chuck Hull, cofundador y presidente ejecutivo de 3D Systems, solicitó una patente para el proceso de Estereolitografía (SLA), el cual sería el primer paso dentro de la tecnología para la creación de objetos tridimensionales. El uso de la tecnología de fabricación aditiva ha ido en crecimiento a lo largo de los últimos años, ya que se han aumentado sus beneficios de uso, siendo el sector médico uno de los que genera mayor interés. A partir del concepto de la impresión 3D, en 2013, el diseñador e informático estadounidense Skylar Tibbits, planteó por primera vez el concepto de impresión 4D como "3D más tiempo como cuarta dimensión". Los objetos creados a partir de la impresión 4D, en comparación a los construidos en la fabricación aditiva convencional, son estructuras que pueden modificarse o autotransformarse cuando se exponen a estímulos con diferentes señales de salida, como movimientos mecánicos y respuestas biológicas, como pueden ser la humedad, el calor, pH y luz. El desarrollo e investigaciones recientes han producido varios materiales inteligentes para la impresión 3D funcional o la impresión 4D, incluidos materiales que se autoensamblan en respuesta a la temperatura, los rayos UV, la autodegradación o la absorción de agua.

Los materiales fotosensibles o sensibles a la luz son útiles e importantes en los materiales de impresión 4D, tal que una reacción de color en un objeto impreso en el material tridimensional puede desencadenarse por la radiación ultravioleta o la luz solar. En el caso de la luz ultravioleta, induce la deformación de estructuras

poliméricas, cambiando su color de blanco a púrpura y volviendo al blanco en ambientes oscuros. Algunos materiales fotosensibles también son susceptibles a experimentar cambios en formas o patrones de superficie.

Uno de los campos de aplicación de los materiales 4D que toman un papel de vital importancia en el plazo corto a largo plazo, son el uso de esta tecnología para finalidades médicas. Organovo Holdings Inc., EE. UU., es una empresa que ha participado en varios proyectos de bioimpresión centrados en el desarrollo de tejidos humanos funcionales, como lo es el desarrollo de un hígado humano artificial. Se espera que el desarrollo de materiales implementando la cuarta dimensión, sean útiles para crear productos médicos y farmacéuticos programables.

Por otro lado, un desafío a resaltar en la impresión 4D es la comparabilidad y reproducibilidad de los resultados dentro de la investigación. Además de los parámetros de impresión, la diversidad dentro del mismo concepto de la impresión 3D y los materiales inteligentes complican la reproducción de los materiales y prototipos. Los estudios en el desarrollo de la tecnología se dirigen a distintas variables dentro de la impresión 4D, ya que la transformación de la estructura depende de la magnitud, duración y medio del estímulo, así como de factores de interferencia como la gravedad o las fuerzas de interacción con el entorno. Es por eso por lo que la investigación y creación de nuevos materiales 4D, es un punto fundamental para el corto, mediano y largo plazo, que no debe verse más allá de una simple variable de la fabricación aditiva, sino como una rama de oportunidad para el desarrollo humano desde los cimientos de la impresión 4D.

## Materiales y métodos

El material usado para el diseño de prototipos fue hidrogel en esferas de la marca “orbeez” y “bomb”, el cual fue sometido a pruebas con el fin de recopilar información sobre el comportamiento de las esferas de hidrogel. El objetivo de estas pruebas es determinar el tiempo y temperatura en la que las esferas de hidrogel mostraban un mayor crecimiento. Para realizar estas mediciones, se formaron lotes que contenían 15 especímenes cada uno. Estos lotes fueron introducidos a 600 ml de agua destilada y 600ml de agua mineral. Las temperaturas de las pruebas fueron 0°, 26°, 45°, 65° C para agua destilada y 19°C para agua mineral. Cada 30 minutos se registró el crecimiento de los diámetros, utilizando un vernier se midieron los diámetros de las esferas hasta un tiempo final de 3 horas momento en el cual se dejó de percibir cambios significativos en las dimensiones de las esferas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

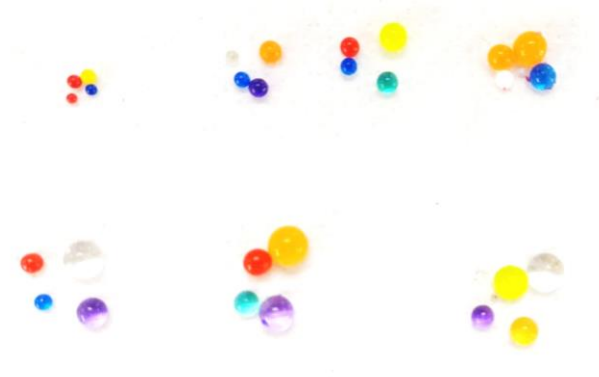


Figura 1.- Esferas de hidrogel después de 8 horas fuera del agua

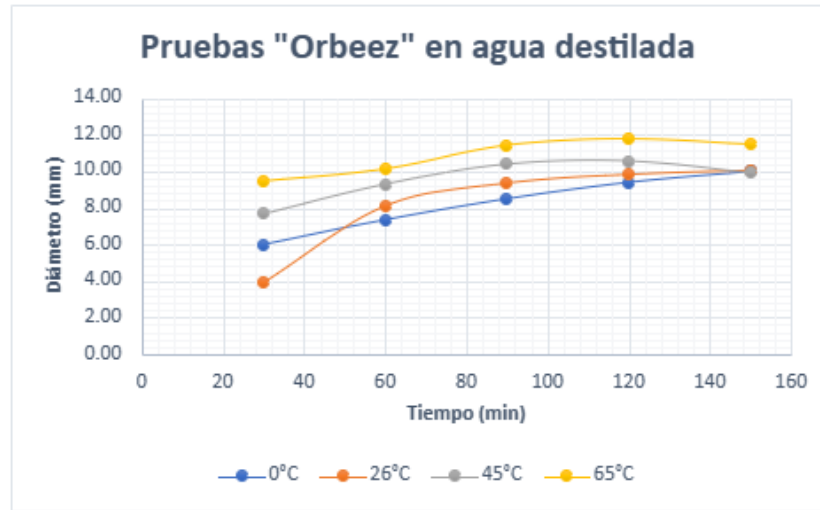


Figura 2.- Crecimiento esferas Bomb

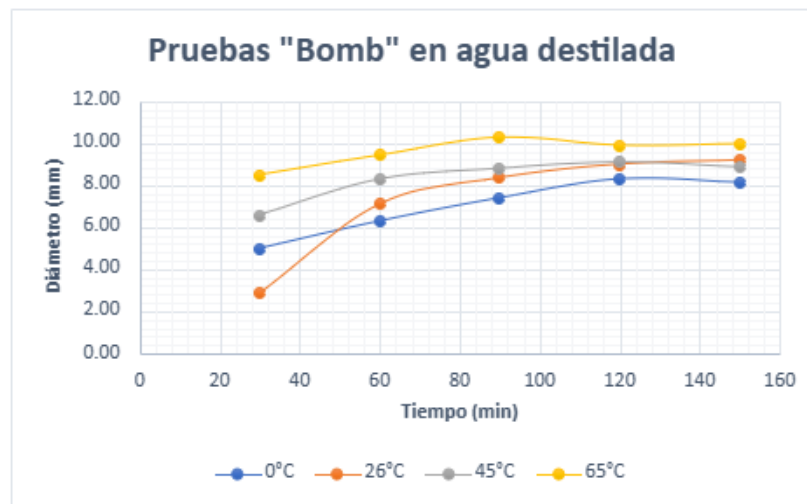


Figura 3.- Crecimiento esferas Orbeez

Lo que se buscó fue observar la relación del tiempo y el crecimiento de las esferas. Después de realizar estas pruebas llegamos a varias conclusiones ya que de cada temperatura y marca obtuvimos comportamientos diferentes, las bomb eran mucho más resistentes que las orbeez, observamos que a menor temperatura el crecimiento era más lento, al ser retiradas del agua estas tardaban más en regresar a su estado original, estas presentaban mayor rigidez y resistencia a la compresión. A mayor temperatura el crecimiento era mayor en menos tiempo, pero eran frágiles al ser comprimidas también su forma empezaba a dejar de ser esférica y se convertía en algo irregular.

## Resultados y discusión

Después de realizar la caracterización del material, se buscaron posibles aplicaciones prácticas donde el estímulo fuera el agua. Todos los prototipos son de PLA y se implementa el hidrogel, el cual reacciona al

agua generando un aumento en su tamaño al entrar en contacto con ella. A continuación, se presentan y describen los prototipos:

### Prototipo 1.- Barrera contra el agua

Es una compuerta para canales o presas, el cual se encuentra perforado en la base del cilindro, al llegar al nivel predeterminado, las esferas de hidrogel entran en contacto con el agua y esto las hace aumentar su tamaño, cuando esto sucede el vástago del cilindro es desplegado causando que la compuerta se cierre. Conforme el nivel del agua disminuye las esferas van perdiendo humedad disminuyendo su tamaño y conforme avanza el tiempo pueden llegar a su estado original.



Figura 4.- Vista lateral CAD prototipo 1

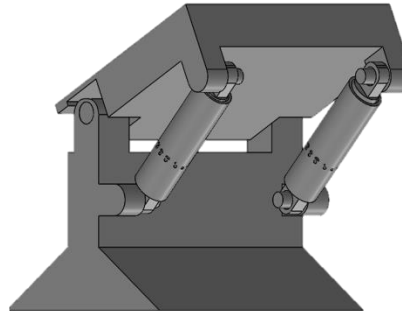


Figura 5.- Isométrico CAD prototipo 1



Figura 6.- Prototipo 1 "barrera contra el agua"

### Prototipo 2.- Distribuidor T

Es un filtro para tubería el cual reacciona con el agua, conforme la humedad aumenta el tamaño del hidrogel también lo hace, ocasionando que el fluido que por el circula deje de pasar. Como tal el prototipo es la rejilla con el aro de sujeción y las esferas de hidrogel, estos componentes son los encargados de obstruir el paso del fluido que circula por la tubería. La gran ventaja de este prototipo es que se podría adaptar a los sistemas de tuberías en los que fluya un gas y no se quiera el paso de líquidos, entonces si la humedad en la tubería aumenta el filtro comenzara a reaccionar para cerrar el paso del fluido.



Figura 7.- Vista frontal distribuidor T



Figura 8.- Prototipo 2 "distribuidor T"

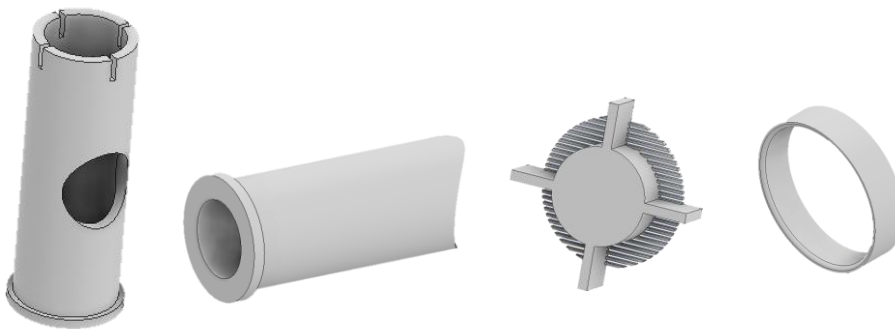


Figura 8.- CAD prototipo 2

### Prototipo 3.- Pistón de uso múltiple

Es un pistón compuesto por tres piezas, un cilindro ranurado que permite la entrada de fluidos al interior, un vástago el cual es impulsado por el hidrogel, una estructura que mantiene al cilindro y al vástago en una posición. Así mismo esta estructura permite que se pueda sujetar el cilindro a cualquier otra estructura. Esta configuración presento muy buenos resultados, logro cargar casi un kilo con 10 esferas de hidrogel, la respuesta fue en un lapso muy corto aproximadamente en menos de una hora. Este dispositivo fue de ayuda para experimentar con la resistencia a la compresión del hidrogel ya que si la fuerza aplicada superaba la resistencia del hidrogel este se rompía y salía por las ranuras del cuerpo del cilindro.

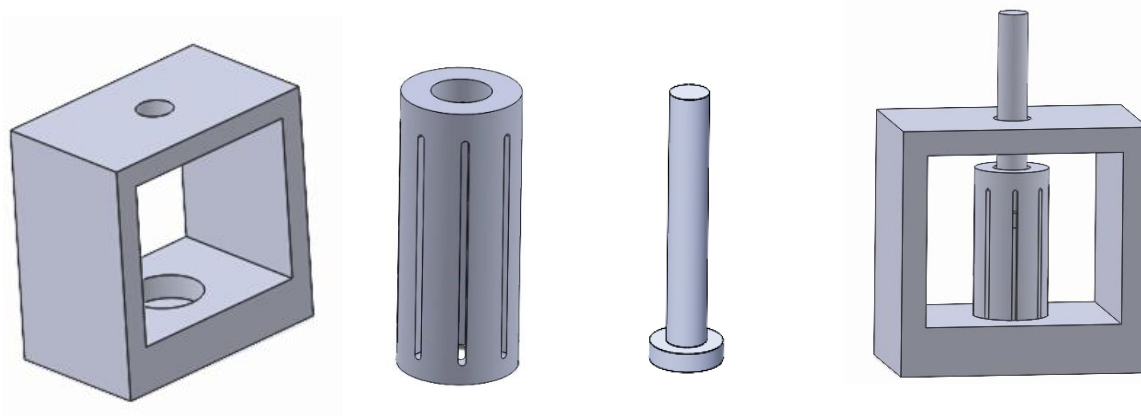


Figura 10.- CAD prototipo 3



Figura 11.- Prototipo tres, estado final

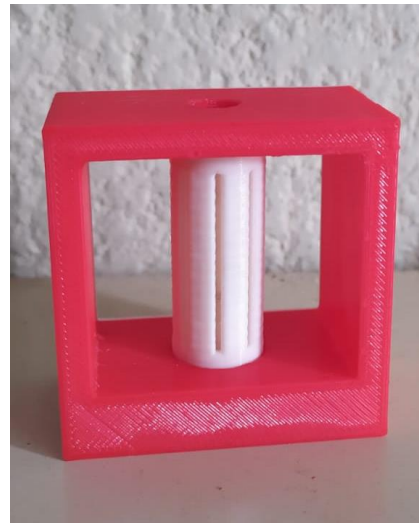


Figura 12.- Prototipo tres, estado inicial

## Conclusiones

Este proyecto ha demostrado que se pueden generar especímenes de tecnología 4D a partir de la impresión 3D y con un diseño estratégico para obtener la respuesta deseada. Estos hallazgos abren nuevas posibilidades para aplicar la impresión 4D en diversas áreas y potencialmente reducir los costos asociados con el uso de materiales inteligentes, puesto que aún están en desarrollo e investigación se incrementan los costos en esta etapa temprana. Los resultados obtenidos son alentadores, ya que los prototipos exhibieron una respuesta satisfactoria. El campo de investigación de materiales 4D actualmente es ilimitado, por lo que dentro de la vigésima octava edición del programa “Verano de la ciencia” creado por la Universidad de Guanajuato, se buscó crear prototipos inteligentes capaces de responder a estímulos específicos utilizando el hidrogel como material inteligente y el agua como estímulo particular. Esta área de investigación posee un gran potencial, dado que aún existen muchas variables y parámetros que podrían influir en un mejor rendimiento de los prototipos desarrollados.

## Bibliografía/Referencias

- ChoiJin, KwonO-Chang, JoWonjin, Ju, L., & MoonMyoung-Woon. (2015). 4D Printing Technology: A Review. 3D printing and additive manufacturing, 2(4), 159-167. <https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0039>.
- Bakarich, S. E., Gorkin, R., Naficy, S., Gately, R., & Spinks, G. M. (2016). 3D/4D printing hydrogel composites: a pathway to functional devices. MRS Advances, 1(8), 521-526.
- Dong, Y., Wang, S., Ke, Y., Ding, L., Zeng, X., Magdassi, S., & Long, Y. (2020). 4D printed hydrogels: fabrication, materials, and applications. Advanced Materials Technologies, 5(6), 2000034.