Revolución 4.0 en Colombia

Materializando la impresión 3D en concreto

Carolina Cárdenas Ramírez
Ingeniera de I+D, Organización Corona

Federico Saldarriaga
Conconcreto

Foto 1. Impresión de una viga de concreto.
CORTESÍA NASA

Durante los últimos años la revolución digital ha abierto nuevos mercados, creado nuevos productos y servicios y facilitado la industrialización de economías emergentes en todos los sectores productivos. Sin embargo, la velocidad con que tales tecnologías se insertan en la construcción ha sido lenta y de complicada asimilación a nivel mundial[15]. No obstante, con la llamada Cuarta Revolución Industrial, o Industria 4.0[7], se espera que los sistemas constructivos sean permeados por nuevas tecnologías y modelos: big data, internet de las cosas, realidad virtual, drones, robótica, impresión 3D, sistemas ciber-físicos e incluso sistemas de gestión de la cadena de valor de las edificaciones como BIM (*Building Information Modelling*). Especialmente la impresión 3D está tomando mucha fuerza en el Mundo.

Según ASTM[10], la impresión 3D es el proceso de unión de materiales para fabricar piezas a partir de datos del modelo 3D, capa sobre capa, opuesta a la fabricación sustractiva y a técnicas formativas. Así, permite manufacturar elementos de diferentes geometrías y con diversos tipos de materiales. Entre las ventajas de la impresión 3D se cuenta: ahorro en costos de producción, mayor velocidad de producción, fabricación de piezas con formas imposibles de lograr con otras técnicas y menos desperdicio de materias primas. Por lo mismo se espera que la impresión 3D se multiplique por 4 en el año 2020[1]. Colombia ya está aplicando esta tecnología en el sector de la construcción.

¿Por qué usar impresión 3D en la industria de la construcción?

Con ingresos cercanos a los 10 trillones de dólares anuales y un valor agregado calculado en $ 3,6 trillones, la industria de la construcción corresponde al 6% del PIB mundial[15]. Esto, sumado al crecimiento poblacional en las zonas urbanas que genera mayor demanda de infraestructura para los próximos años[3], hace que la industria constructora sea la mayor consumidora de materias primas y productora del 30% de los gases de efecto invernadero[2]. Además, es una industria donde hay dificultades para encontrar mano de obra calificada y es común la contratación informal[3]. Esto justifica cualquier desarrollo que permita mejorar la velocidad de ejecución de las obras, disminuir los impactos ambientales o mejorar la eficiencia energética. Una respuesta a estas necesidades es la manufactura aditiva, llamada también impresión 3D.

La manufactura aditiva (Figura 1) es el proceso donde se conforman elementos en tercera dimensión colocando capa sobre capa de material; es decir, en lugar de remover material, se adiciona. Por el contrario, la manufactura sustractiva (fresadora, torno, máquinas de control numérico -CNC, corte por plasma, corte por láser, troquelado, etc.) se basa en la remoción de material que deja altos desperdicios de materias primas. En construcción, la impresión 3D permite fabricar piezas sin necesidad de moldes, como si lo exigen las técnicas tradicionales de vaciado o fundición. Estas diferencias hacen que la impresión 3D presente altas velocidades de manufactura, menor número de pasos para la fabricación de las piezas, disminución de costos, menores riesgos asociados, gran flexibilidad de diseño de piezas y la posibilidad de entrar en nuevos mercados.

Grandes compañías han encontrado en la impresión 3D un sistema de manufactura revolucionario y afirman que en el futuro será la manera convencional de hacer las cosas, ya que brindará fácil acceso a diferentes productos que actualmente son difíciles de distribuir[16]; además, será posible construir con rapidez viviendas de emergencia en caso de catástrofes naturales, refugios y viviendas que suplan la alta demanda demográfica que enfrenta el mundo.

Hoy en día, la tecnología de manufactura aditiva se divide en 7 categorías[4] (Figura 2). La selección de la categoría depende de las geometrías deseadas y los materiales de impresión. En el área de la construcción los materiales más usados son el concreto y los morteros cementicios, que por su naturaleza son usados con la técnica de extrusión de material.

Uno de los referentes más representativos de la impresión 3D en concreto es china, pionera en esta tecnología en el año 2007, Shanghai fue la primera en imprimir una casa en 2008 y cuenta los equipos de impresión más grandes del mundo y en Rusia existe un equipo portátil que puede imprimir casas en sitio de 38 m^2 en 24 horas y toma solo 30 minutos instalar el equipo impresor[6]. De manera similar, en Austin, Texas, se fabricó el primer prototipo de vivienda en América del Norte, con un área de 32 m^2 y 48 horas de impresión en sitio[9].

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Finalmente, Francia, también se destaca por sus desarrollos en la producción de elementos usando impresoras 3D y con una visión más arquitectónica ha realizado impresiones de mobiliario urbano con diseños innovadores[20]. En América del Sur, la empresa colombiana Conconcreto diseñó en el 2016 la primera impresora 3D de gran formato de concreto y en alianza con Corona, también colombiana, desarrollaron diferentes tintas de impresión de concreto que finalmente permitieron imprimir elementos no estructurales como mobiliario urbano y el primer prototipo de vivienda, conocido como Casa Origami, en el 2017. En la medida del conocimiento de los autores de este artículo, se desconocen otras iniciativas similares en Latinoamérica

La evolución de la impresión 3D de concreto ha sido rápida en Colombia y está a la par de desarrollos similares en el resto del Mundo. Gracias a la interacción y co-creación entre academia, industria y Estado, el proyecto Casa Origami es altamente innovador y ha sido realizado en su totalidad por un equipo colombiano, desde la conceptualización, construcción del prototipo de impresora 3D de concreto de gran formato, desarrollo e investigación de los materiales de impresión, hasta el diseño y logística empleados en la impresión del prototipo de vivienda.

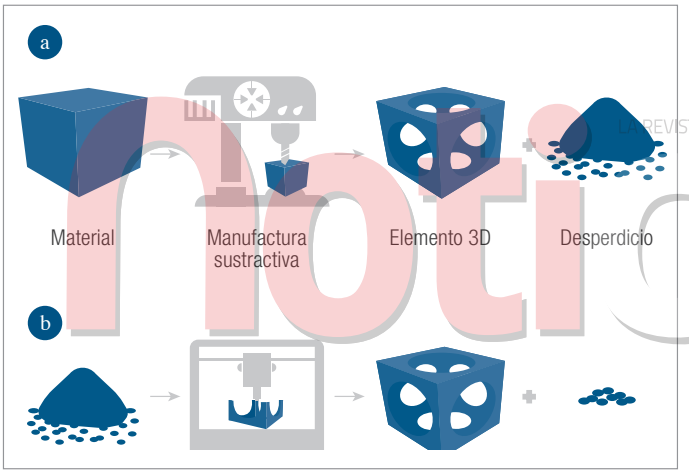


Figura 1. a) Proceso de manufactura sustractiva. b) proceso de manufactura aditiva.
ADAPTADO DE 3D NATIVES, 2018

Impresora 3D de concreto de gran formato

La impresora 3D de concreto de gran formato (Foto 2) se compone de la unión de 5 tecnologías que alcanzan una integración ideal para lograr la impresión efectiva de elementos estructurales y no estructurales. La primera corresponde al software llamado "software devanador", con el cual se pueden procesar los modelos CAD (diseño asistido por computador) para materializarlos en la impresora. El software genera las trayectorias para elementos tridimensionales con las coordenadas X, Y y Z de los puntos que describen la geometría de las piezas.

La segunda tecnología es la bomba de concreto, que impulsa el material de impresión a través de una manguera. Su control de velocidad le permite obtener elementos de diferentes espesores y alturas. La tercera tecnología es el sistema de movimiento mediante una estructura tipo gantry, con movimientos en los ejes X, Y y Z, sobre un plot o área de impresión de 6 x 3 x 3 m.

La cuarta tecnología, la boquilla de extrusión, fue desarrollada en conjunto con la academia; permite dar un acabado uniforme y su diseño es flexible para ser modificado cuando se requiera. Finalmente, la quinta tecnología es la tinta de impresión con la que conforman los elementos; en este caso la tinta es de concreto base cemento.

Tinta de concreto para impresión 3D

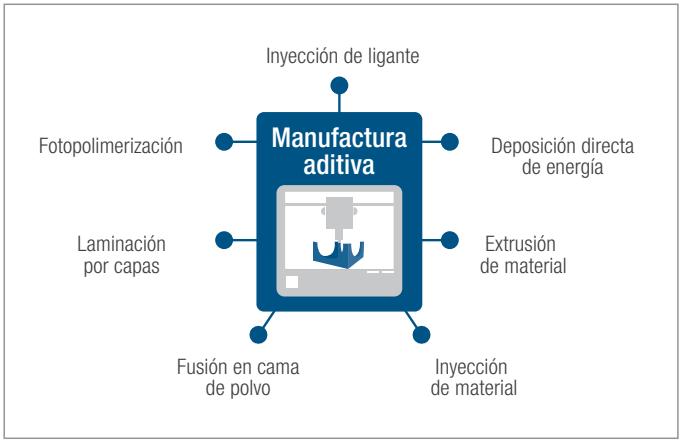
Los procesos de manufactura aditiva basados en materiales viscosos son los más investigados en el área de la construcción[12]. Esto implica depositar material viscoso a través de una boquilla de impresión. El fenómeno de la solidificación, endurecimiento o fraguado del material se alcanza por un curado previo o por reacciones químicas que se dan en el tiempo dentro del mismo material. Fuera de las resistencias mecánicas necesarias, las tintas para impresión deben tener un comportamiento reológico especial, es decir, se debe estudiar la manera como fluye la tinta en la impresora y asegurar que circule fácilmente en el mezclador, la bomba y la manguera, pero que, una vez salga por la boquilla de extrusión, la tinta pierda viscosidad y gane dureza para soportar las capas posteriores.

Usualmente, dentro de los materiales que se emplean para impresión 3D de concreto se encuentran mezclas de materiales ligantes como cemento hidráulico o geopolímeros, con materiales de relleno como agregados naturales (arena, grava, piedra molida, arcilla), agregados reciclados provenientes de la demolición, la excavación o la construcción, y diferentes aditivos como plastificantes, acelerantes de fraguado, retardantes de fraguado, modificadores reológicos y fibras[5,8,11,13,14,17]. Los materiales de este tipo son los más usados para las técnicas de impresión mediante contornos (*contour crafting*) y sin uso de formaletas (*freeform construction*), las cuales son empleadas en la construcción para imprimir elementos estructurales y no estructurales.

Es importante saber que los concretos y morteros que se desarrollen para impresión 3D deben cumplir con las siguientes características[12]:

- **Capacidad de bombeo** (*Pumpability*). Facilidad con la que el material es capaz de moverse a través del sistema de entrega, que en la mayoría de casos es una manguera.
- **Capacidad de impresión o extrusión** (*Printability/Extrudability*). Habilidad del concreto para ser extruido fuera de la boquilla. Esto se evalúa con base en la distancia sobre la cual se puede imprimir la pasta sin bloquear la boquilla. Además, la pasta impresa debe estar libre de grietas y separaciones.
- **Apilabilidad** (*buildability*). Resistencia del material depositado a la deformación bajo cargas de las subsiguientes capas. Puede cuantificarse mediante el número de capas de impresión que se puede lograr sin deformación significativa de las capas más bajas.

Figura 2. Clasificación de la manufactura aditiva según ASTM[4].
ASTM F2792, 2013



notiCRETO LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

- **Resistencia a compresión y flexión.** Resistencia mecánica que debe alcanzar el concreto dependiendo del tipo de pieza a imprimir (estructural o no estructural) y el tiempo en que debe moverse para su consiguiente colocación (resistencia en verde).
- **Tiempo abierto.** Periodo durante el cual se mantienen las propiedades de capacidad de bombeo, extrusión y apilabilidad.

Al lograr estas propiedades, es posible tener una mezcla de concreto apropiada para imprimir elementos en 3D con diferentes geometrías, alturas y características.

Casa Origami: Primer módulo habitable de Latinoamérica

Diseñado y construido por colombianos, el módulo habitable impreso se denomina Casa Origami debido a su manufactura y proceso de ensamble. Apuntando a un nuevo método de construcción más limpio y rápido.

Casa Origami (Foto 3) es el primer módulo habitable en América Latina realizado en concreto mediante manufactura aditiva. La casa fue impresa en el 2017 en Medellín, Colombia, con un área de 24 m² lograda con el ensamble de 32 elementos impresos. El tiempo de impresión de la casa fue cercano a las 27 horas y sus elementos cumplen las especificaciones técnicas que indica la Norma Sismo-resistente Colombiana (NSR-10)[18] por lo cual la tinta se diseñó superando los valores de resistencias requeridos y los elementos fueron reforzados con acero.

La impresión 3D de la casa causó menos desperdicios de materiales frente a los métodos tradicionales de construcción, lo cual tiene un impacto positivo en lo ambiental y lo económico. Además, requirió menos mano de obra que la convencional, no se usaron formaletas y su construcción fue muy rápida.

Foto 2. Impresora 3D de concreto de gran formato.
CORTESÍA FEDERICO SALDARRIAGA

noticreto LA REVISTA DE LA TÉCNICA Y LA CONSTRUCCIÓN

Para complementar el aspecto de sostenibilidad, la casa fue diseñada con paneles solares para abastecer el interior con electricidad. Dentro de la casa se tiene un sistema de 1kW de potencia, cuya distribución se da a través de redes de 120 voltios de corriente alterna y 24 voltios de corriente directa, para mayor eficiencia. Cuenta, además, con una cubierta verde como componente ambiental que regula la temperatura en el interior. Su diseño externo, relacionado con el paisajismo, dispone de mobiliario urbano como bancas y jardineras realizadas también mediante impresión 3D de concreto.

Foto 3. Casa Origami.
CORTESÍA FEDERICO SALDARRIAGA

Conclusiones

La impresión 3D es una tecnología disruptiva que está impactando positivamente el sector de la construcción para obtener elementos estructurales y no estructurales con grandes ventajas como un rápido ritmo de fabricación, disminución de desperdicios, ninguna formaleta, menos mano de obra y posibilidad de obtener nuevas geometrías que son difíciles o imposibles de obtener mediante técnicas convencionales.

El desarrollo de la tinta para impresión 3D de concreto implica el correcto control del diseño de mezcla, que cumpla con resistencias mecánicas adecuadas para el elemento que se desea imprimir y con una reología que permita que la tinta fluya fácilmente por el sistema de bombeo de la impresora pero que, a la salida de la boquilla, gane la viscosidad suficiente para auto-soportarse y soportar las capas posteriores.

Todas las referencias bibliográficas de este artículo podrán encontrarlas en la edición virtual:
www.asocreto.org.co/noticreto/edicion-actual/