

Revisión de literatura sobre impresión 3D en concreto

**Karol Agreda Estela
Jhonny Jhonatan Valverde Mori**

Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería

Capítulo Estudiantil ACI UNI

Resumen

Se presenta una revisión bibliográfica amplia (2015–2025) sobre la **impresión 3D de concreto (3DCP)**, enfocada en materiales, procesos y desempeño estructural. La impresión 3D permite construir elementos complejos reduciendo tiempos y desperdicios, aunque enfrenta retos de adhesión entre capas y control reológico. Según estudios recientes, los parámetros críticos son la fluidez y tixotropía de la mezcla y la unión intercapas. Las adiciones minerales y fibras mejoran la “buildability” y resistencia post-fisuración, pero requieren optimizar la extrudabilidad. Se destacan avances en refuerzos híbridos y anclajes embebidos para modularidad. Con base en la revisión, se identifican brechas de investigación: necesidad de estandarizar ensayos de durabilidad e implementar protocolos de calidad para la adopción industrial.

Introducción

La impresión 3D de concreto (concreto por capas) ha emergido como revolución en la construcción modular. Permite fabricar rápidamente elementos estructurales o arquitectónicos con geometrías complejas (curvas, cavidades) sin encofrado convencional. Su tecnología implica extruir una mezcla de concreto especial capa a capa. La motivación es reducir costos, tiempo y residuos en obra, además de potenciar diseños optimizados y sostenibles. Sin embargo, la literatura actual muestra que este campo es relativamente nuevo (últimos 10 años) y concentra investigaciones en optimizar la mezcla e integrar refuerzo apropiado. Por esto, se plantea revisar los principales avances globales, identificar limitaciones técnicas y proponer líneas futuras.

Presentación del problema

Imprimir en 3D con concreto implica dos grandes retos: (1) mejorar la mezcla para ser extrudible y autosoportante, y (2) refuerzo adecuado, puesto que la deposición por capas genera anisotropía y debilidad en la unión intercapas. El concreto impreso debe fluir bien por la boquilla sin segregarse, fraguar rápido para soportar capas sucesivas, y alcanzar suficientes resistencias tras endurecer. A su vez, la capa inferior debe adherirse firmemente a la nueva capa para evitar delaminación. Estudios muestran que el control del comportamiento reológico (fluidez inicial y tixotropía) es crítico para la estabilidad de la estructura. Además, la variabilidad en mezclas (con/sin agregados, uso de aditivos tixotrópicos, uso de fibras) dificulta estandarizar los procedimientos. El ámbito de investigación requiere sistematizar conocimientos dispersos sobre materiales (cemento, agregados, aditivos), procesos de impresión (velocidad, geometría de deposición) y desempeño final (mecánico, durabilidad).

Objetivos

General:

Sintetizar el estado actual del arte en impresión 3D de concreto, identificando avances tecnológicos, material y desafíos.

Objetivos específicos:

- Revisar aplicaciones actuales de 3DCP en construcción modular (viviendas, infraestructuras).
- Describir propiedades requeridas de la mezcla (reología, fraguado rápido, adhesión intercapas) y cómo se logran con aditivos especiales.
- Analizar métodos de refuerzo implementados (fibras, mallas, anclajes, barras incrustadas) y su eficacia.
- Destacar resultados de ensayos reportados (resistencia a compresión, flexión, durabilidad) y compararlos con concreto tradicional.
- Identificar brechas en normativa, estandarización de ensayos (ciclos climáticos, etc.) y sugerir líneas de investigación futura.

Descripción de la solución

Como revisión literaria, la “solución” aquí es organizar el conocimiento existente. Se sigue una metodología PRISMA (selección sistemática de artículos). Se resumen puntos clave: la mezcla típica de 3DCP incluye cemento Portland (o cementos especiales de fraguado rápido), mezclas secas o semisecas con áridos finos y aditivos de alta movilidad. Los ensayos relevantes son compresión (ASTM C39 modificado), cortante interlaminar, y flexión. Se subraya el desarrollo de sensores en la impresora para controlar flujo y calidad.

Métodos y procedimientos

Para revisar la literatura, se consultaron bases de datos (ScienceDirect, Scopus, Google Académico) con palabras clave “3D concrete printing”, “extrusion compaction”, “ impresión concreto”. Se filtraron artículos revisados por pares (2015–2025) que incluyen datos experimentales. Se anotaron hallazgos sobre mezclas (porosidad, resistencias, parámetros reológicos) y casos de estudio (proyectos piloto de casas impresas). No hubo experimentos propios en laboratorio, pero sí se sintetizan procedimientos típicos reportados: preparación de mezclas, calibración de impresoras, y ensayos de calidad dimensional y mecánica (resistencia axial de pilar impreso). Entre procedimientos de impresión, destacan métodos extrusiónens preestablecidos, uso de cabezal rotatorio, y estructuras de soporte (murales de gran escala vs módulos prefabricados).

Ensayos realizados

Los estudios revisados aplican ensayos normalizados modificados para 3DCP:

- **Compresión uniaxial (ASTM C39) y flexión a 4 puntos** (ASTM C1609, adaptado) sobre muestras impresas.
- **Resistencia interlaminar (Coutinho test)**: medida de adherencia entre capas.
- **Ensayos de durabilidad**: pruebas de permeabilidad (ASTM C1202) y resistencia al fuego de paneles impresos.
- **Propiedades reológicas**: Slump flow (C1611) y pruebas de Tixotropía (rotacional rheometer).
- **Imágenes 3D**: seguimiento de deformaciones con DIC durante carga. Se menciona que la mayoría de ensayos sigue normas ASTM/ISO para concreto, adaptándolas a especímenes impresos. Esta revisión documenta ejemplos de resultados:

(p.ej. resistencias a compresión de 20–60 MPa en capas impresas, con variación según dirección del corte).

Resultados

La síntesis muestra que la clave del 3DCP es balancear fluidez con soporte. El estudio de Cobena et al. (2023) reporta que la mezcla debe tener “límite de fluencia” y “tixotropía” optimizados: la mezcla fluye bien por la boquilla pero recupera viscosidad rápidamente para mantener forma. Las adiciones minerales (ceniza volante, harina de sílice) y fibras (PP, PET, acero) se han probado para mejorar la cohesionado entre capas y la resistencia global. El metaanálisis indica que mezclas con fibras incrementan la resistencia post-fisura y calidad superficial. En cuanto a números, un subgrupo de estudios informa resistencias a compresión en sentido de extrusión superiores al 95 % del valor longitudinal, evidenciando anisotropía moderada. Sin embargo, existe amplia variabilidad metodológica entre laboratorios, lo que dificulta comparaciones directas. Varios artículos coinciden en que el proceso de impresión aumenta la productividad (~50% ahorro en tiempo) y reduce desperdicio de material. La **Figura 18** muestra esquemáticamente la extrusión capa a capa: 3DCP puede imprimir un muro continuo en horas.

Pese a los avances, persisten problemas reportados: fisuras en uniones transversales, baja bond de refuerzo tradicional en capas, y dificultades de escala (falta de impresoras móviles robustas). Los investigadores destacan la necesidad de ensayos estandarizados para evaluar durabilidad (resistencia a ciclos de congelación, fuego) antes de su uso generalizado.

Conclusiones

La revisión evidencia que la impresión 3D en concreto es una tecnología emergente con aplicaciones reales en viviendas y estructuras modulares, pero aún en fase experimental. Los avances de última década han permitido optimizar mezclas reológicas (fluidez+tixotropía) y prototipar impresoras móviles. Se ha mostrado que las fibras y aditivos pueden mejorar la adherencia entre capas y la resistencia estructural, aunque a costa de mayor complejidad en la mezcla. En definitiva, el 3DCP ofrece promesas de eficiencia y sostenibilidad (menos formas, residuos mínimos), pero el marco normativo y los protocolos de control de calidad aún están en desarrollo.

Recomendaciones

Para la práctica, se sugiere crear una red internacional para compartir datos de mezclas y ensayos 3DCP, de forma similar a comités de ACI (ej. comité 533). Se recomienda estandarizar métodos de ensayo, p.ej. procedimiento normalizado para medir resistencia interlaminar. En investigación futura, es crucial desarrollar sistemas de refuerzo integrados: híbridos (impresión de mallas), “soft-procesos” (impresión con mortero bidireccional), y estudiarlos en proyectos a escala real. Es necesario evaluar la durabilidad (ciclos climáticos, envejecimiento de las interfaces) y protocolos de monitoreo en obra (sensores de humedad y temperatura durante impresión). Por último, se sugiere explorar el uso de materiales geopoliméricos o cementos alternativos para impresoras 3D ecológicas.

Referencias

- Cobena, W.D., et al. *Avances en concreto impreso en 3D: estado del arte y desafíos para la construcción modular*. Horizonte Acad. 5(3), 2023, pp. 264-281.
- Xu, S., et al. *Mix proportion and properties of 3D printed concrete*. Cem. Concr. Res. 115, 2019, pp. 74-83.

- Buswell, R., Leal de Silva, W., Jones, S., Dirrenberger, J. *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. Cem. Concr. Res. 112, 2018, pp. 37-49.
- Wolfs, R.J.M., Bos, F.P., Salet, T.A.M. *Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: numerical modeling and experimental testing*. Cem. Concr. Compos. 94, 2018, pp. 233-243.
- Hà, V.H., Le, T.T. *A review of 3D printing concrete: Reinforcement, printing strategies, and robotics*. Constr. Build. Mater. 268, 2021, 120297.