



**La Impresión 3D como Alternativa de Construcción de Vivienda en Bucaramanga,
Santander**

Geyli Yureli Blanco Prada

20611823923

Universidad Antonio Nariño

Programa de Arquitectura

Facultad de Artes

Bucaramanga, Colombia

2023

**La Impresión 3D como Alternativa de Construcción de Vivienda en Bucaramanga,
Santander**

Geyli Yureli Blanco Prada

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Arquitecto

Director: Arq. Sandra Liliana Tavera Pérez

Investigación

Sub-Categoría: Tecnología

Línea de Investigación: Medio Ambiente y Hábitat Popular

Universidad Antonio Nariño

Programa de Arquitectura

Facultad de Artes

Bucaramanga, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado *La Impresión 3D como Alternativa de Construcción de Vivienda en Bucaramanga, Santander*, observa los requisitos para optar al título de arquitecto

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bucaramanga, octubre, 2023.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mis padres Gerson Blanco y Lida Prada quienes han sido vitales para mi formación como ser humano capaz de vivir en un entorno social y académico. Ellos son mi fortaleza y me han brindado la oportunidad y el apoyo para seguir siempre adelante. La fuerza que de ellos recibo me han sostenido en cada paso de la vida, su amor y sacrificios merecen mis luchas y esfuerzos, es una manera de compensar un poco, lo que ellos me brindan a cada momento.

Agradecimientos

Me agradezco a mí misma, por mi tenacidad, por no abandonar cuando la presión era abrumadora y por seguir adelante con pasión y perseverancia por no ceder ante la autocrítica y por creer en mi capacidad para superar obstáculos, incluso cuando parecía imposible. A mis padres y hermano, quien con su esfuerzo, dedicación, ánimos y confianza han estado siempre en cada momento, alentándome y dándome seguridad para seguir adelante.

A la docente Sandra Liliana Tavera Pérez, persona muy importante en el proceso de elaboración de este trabajo de grado.

Contenido

Introducción	14
1. Marco Preliminar.....	18
1.1 Problema de Investigación	18
1.2 Objeto de estudio.....	22
1.3 Población objetivo.....	22
1.4 Pregunta de investigación.....	22
1.5 Objetivos	22
<i>1.5.1 Objetivo General</i>	<i>22</i>
<i>1.5.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>22</i>
1.6 Alcance	23
1.7 Justificación.....	23
1.8 Hipótesis.....	26
1.9 Metodología	26
<i>1.9.1 Método</i>	<i>26</i>
<i>1.9.2 Fases de la investigación</i>	<i>27</i>
1.9.2.1 Descripción del Problema.....	27
1.9.2.3 Estudio técnico por categorías	28
1.9.2.4 Balance de la información estudiada.....	28
1.9.2.5 Conclusiones, Ventajas y desventajas.....	29
2. Marco Teórico	30
2.1 Estado del Arte sobre la impresión 3D	30
<i>2.1.1 Generalidades.....</i>	<i>30</i>
<i>2.1.2 Fabricación de hormigón</i>	<i>30</i>
<i>2.1.2 La fabricación aditiva desde la impresión 3D.....</i>	<i>35</i>
<i>2.1.3 Impresión de estructuras</i>	<i>36</i>
<i>2.1.5 Fabricación de muros</i>	<i>46</i>
<i>2.1.6 Las sustancias aglutinantes y aspectos ambientales.....</i>	<i>49</i>
<i>2.1.7 Funcionalidad de la impresión 3D.....</i>	<i>52</i>
<i>2.2.1 La impresión 3D es una solución para fabricar casas</i>	<i>54</i>
2.2.1.1 Sobre la reducción de costos.....	54
2.2.1.2 Reducción de tiempo y de otros aspectos	59

2.2.1.3 Reducción del déficit habitacional y mejora en la seguridad en la construcción	62
2.2.2 <i>Proyectos de empresa constructoras de vivienda con impresión 3D</i>	64
2.2.3 <i>Balance de los elementos donde la impresión 3D puede intervenir</i>	70
3. Marco Normativo	72
3.1 Título C – Concreto Estructural	73
3.1.1 <i>Alcance</i>	74
3.1.2 <i>Especificaciones en los planos</i>	75
3.1.3 <i>Supervisión Técnica</i>	76
3.1.5 <i>Normas Técnicas Citadas en el Título C de obligatorio cumplimiento</i>	77
3.1.6 <i>Sistema de Unidades</i>	77
3.2 Título A Condiciones Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente 77	
3.2.1 <i>Generalidades</i>	77
3.2.2 <i>Zonas de Amenaza Sísmica</i>	77
3.2.3 <i>Contenido</i>	78
4 Marco Contextual	81
4.1 Contexto Político – Económico	82
4.2 Contexto Socio – Cultural	83
4.3 Análisis Multiescalar	93
4.3.1 <i>Rango Macro</i>	93
4.3.2 <i>Rango Meso</i>	96
4.3.3 <i>Rango Micro</i>	97
5. Marco Proyectual	99
5.1 Rendimientos	100
5.2 Aplicaciones	102
5.3 Mano de obra.....	104
5.4 Costos	105
5.5 Rendimiento en mampostería.	108
5.6 Rendimiento en impresión 3D en concreto	110
5.7 Operarios	112
5.8 Necesidades de maquinaria, equipos y costos.....	116
5.9 Impresoras	117
5.10 Transporte	118

5.11 Materiales	122
5.12 Material de impresión 3D.....	126
5.14 Morteros de mezcla seca.....	127
Imprevistos	135
Conclusiones	139
Referencias.....	144
Andexo Guía Técnica y económica de la impresión 3D como método constructivo alternativo.....	146

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Porcentaje de hogares según el déficit cualitativo en viviendas</i> _____	20
Tabla 2 <i>Comparativo del déficit de vivienda e a nivel nacional y el departamento de Santander en el 2021</i> ____	21
Tabla 3 <i>Factores que influyen en el proceso de impresión</i> _____	39
Tabla 4 <i>Diferencias en el FDM según la escala</i> _____	42
Tabla 5 <i>Impresión 3D a escala en el ciclo de vida de la construcción tradicional</i> _____	43
Tabla 6 <i>Comparación de riesgos de la impresión 3D con métodos tradicionales</i> _____	63
Tabla 7 <i>Normativa internacional</i> _____	72
Tabla 8 <i>Vivienda en bahareque e impresión 3D</i> _____	84
Tabla 9 <i>Vivienda palafítica e impresión 3D</i> _____	85
Tabla 10 <i>Vivienda rural dispersa e impresión 3D</i> _____	86
Tabla 11 <i>Vivienda Rural en Centros Poblados</i> _____	87
Tabla 12 <i>Vivienda urbana mixta e impresión 3D</i> _____	88
Tabla 13 <i>Vivienda urbana e impresión 3D</i> _____	89
Tabla 14 <i>Vivienda VIP e impresión 3D</i> _____	90
Tabla 15 <i>Vivienda VIS e impresión 3D</i> _____	92
Tabla 16 <i>Rendimientos</i> _____	109
Tabla 17 <i>Muro portante de mampostería reforzada</i> _____	122
Tabla 18 <i>Muro de mampostería</i> _____	124
Tabla 19 <i>Muro de mampostería H 15</i> _____	124
Tabla 20 <i>Muro de mampostería H 15</i> _____	125
Tabla 21 <i>Total, de una construcción de 77 m² en mampostería</i> _____	126
Tabla 22 <i>Características y beneficios del concreto y aditivos D.FAB</i> _____	129
Tabla 23 <i>Mezcla Concreto 52 MPa = por 1m³</i> _____	130
Tabla 24 <i>Análisis de presión unitarios - muros impresos – (estructura) que corresponden a una vivienda de 77m²</i> ____	131
Tabla 25 <i>Total, de presupuesto de una vivienda de 77m² en impresión 3D</i> _____	132
Tabla 26 <i>Flujo de caja impresión 3D</i> _____	132
Tabla 27 <i>Programación y tiempos de ejecución de construcción tradicional mampostería y sistema 3D</i> _____	134

Lista de Figuras

Figura 1 Número de viviendas en déficit habitacional – DANE 2021 _____	19
Figura 2 Situación habitacional en algunas regiones. _____	20
Figura 3 Viviendas vendidas según rango de precio – Década actual _____	25
Figura 4 Dos tipos de segmentos impresos para las vigas _____	33
Figura 5 Impresión 3D de elementos de hormigón _____	34
Figura 6 El proceso de impresión y segmento de hormigón impreso _____	34
Figura 7 Imágenes del trabajo de Ahmed, G. H., Askandar, N. H., y Jumaa, G. B _____	37
Figura 8 Primera estructura impresa in situ y progreso de impresión _____	38
Figura 9 Impresión 3D aplicada a edificaciones de escala natural _____	39
Figura 10 Relaciones cuantitativas y cualitativas de parámetros _____	40
Figura 11 Factores de influencia en la impresión 3D _____	41
Figura 12 Influencia de la orientación en el tiempo y el peso _____	41
Figura 13 Impresión 3D de espuma (F3DP) _____	47
Figura 14 Detalle de muro _____	47
Figura 15 Casa de 95m2 impresa con muros de polímero y hormigón _____	48
Figura 16 Resultado final de la vivienda impresa con muros de polímero y hormigón _____	49
Figura 17 Flujo de trabajo en la impresión 3D _____	53
Figura 18 Relleno estructural en impresión 3D _____	55
Figura 19 Construcciones en Nigeria _____	58
Figura 20 Proyecto de la constructora Winsun _____	61
Figura 21 Tipos de losa _____	64
Figura 22 Tipos de muros _____	65
Figura 23 Imágenes de viviendas con uso de la tecnología de impresión 3D _____	67
Figura 24 Elementos arquitectónicos locales combinados con muros impresos _____	67
Figura 25 Tipos de cimentación _____	70
Figura 26 Tipos de columnas _____	71
Figura 27 Concreto estructural _____	73
Figura 28 Fabricación de hormigón en 3D _____	75
Figura 29 Planos _____	75
Figura 30 Casa Origami _____	81

Figura 31 Casa Terracota _____	82
Figura 32 Vivienda de Bahareque _____	83
Figura 33 Vivienda palafítica _____	84
Figura 34 Vivienda rural dispersa en Above, en Pore _____	85
Figura 35 Vivienda rural en centros poblados _____	86
Figura 36 Vivienda urbana mixta _____	87
Figura 37 Vivienda urbana _____	88
Figura 38 Vivienda de interés prioritario en el Meta _____	90
Figura 39 Vivienda de interés social en Cartagena _____	91
Figura 40 Mapa de Colombia según el déficit cuantitativo por departamento _____	93
Figura 41 Mapa de Colombia según la competitividad departamental _____	95
Figura 42 Déficit habitacional cuantitativo en Santander 2021 _____	96
Figura 43 Porcentaje de hogares por tipo en Bucaramanga, Santander y Colombia _____	97
Figura 44 Concentración de déficit cuantitativo en Bucaramanga _____	98
Figura 45 Inicio y terminación de impresión de edificación _____	110
Figura 46 Inicio y terminación de impresión de edificación _____	111
Figura 47 Impresión inicial y final de la edificación _____	111
Figura 48 Inicio y terminación de la impresión de la edificación _____	112
Figura 49 Tipos de máquinas, impresora by planta de concreto _____	115
Figura 50 Impresora _____	118
Figura 51 Cotización _____	121
Figura 52 Proceso de impresión _____	127
Figura 53 Hormigón y morteros _____	128
Figura 54 Creación de concreto _____	128
Figura 55 Impresión de concreto en 3D _____	129

Resumen

Esta investigación se enfoca en el estudio de la fabricación aditiva, o impresión 3D, en la industria de la construcción con el fin de desarrollar un estudio técnico que la muestre como alternativa sostenible para la construcción de vivienda en Bucaramanga, Santander; esto mediante el estudio de investigaciones y proyectos realizados a nivel mundial que permiten entender su funcionamiento para evaluar su viabilidad en aspectos sociales, técnicos-constructivos, ambientales, estructurales, tiempos y costos. Por otra parte, el diseño de la investigación se hizo mediante el estudio de casos de proyectos realizados a nivel mundial donde se implementa la impresión 3D para la construcción de viviendas o proyectos de construcción en distintas escalas, con distintos materiales; además, se hizo un alcance correlacional mediante la relación de categorías de análisis usando datos cuantitativos y sociodemográficos, sumado a la revisión documental, que permitirá estudiar la información divulgada a lo largo de los años. Por último, la metodología tendrá un enfoque cualitativo, debido a que se plantean categorías de análisis para entender el funcionamiento de esta tecnología y poder evaluar su viabilidad en los distintos contextos que se presentan en el país. Además, los resultados obtenidos se presentan mediante matrices de análisis para generar conclusiones en cada uno de los aspectos evaluados, así como un análisis de su viabilidad de implementación en Bucaramanga, Santander, información que se recoge en la guía técnica anexa al documento.

Palabras clave: Impresión 3D, construcción, sostenibilidad, vivienda, fabricación aditiva.

Abstract

This research focuses on the study of additive manufacturing, or 3D printing, in the construction industry in order to develop a technical study that shows it as a sustainable alternative for housing construction in Bucaramanga, Santander; This is done through the study of research and projects carried out worldwide that allow us to understand its operation to evaluate its viability in social technical-constructive, environmental, structural, time and cost aspects. On the other hand, the research design was done through case studies of projects carried out worldwide where 3D printing is implemented for the construction of homes or construction projects on different scales, with different materials; In addition, a correlational scope was made through the relationship of analysis categories using quantitative and sociodemographic data, added to the documentary review, which will allow studying the information disclosed over the years. Finally, the methodology will have a qualitative approach because analysis categories are proposed to understand the operation of this technology and to be able to evaluate its viability in the different contexts that occur in the country. In addition, the results obtained are presented through analysis matrices to generate conclusions in each of the aspects evaluated, as well as an analysis of its implementation feasibility in Bucaramanga, Santander. In addition, a guide will be designed where the most important information about this technology will be reflected.

Keywords: 3D printing, construction, sustainability, housing, additive manufacturing.

Introducción

A través de la historia los seres humanos han tenido la necesidad de adquirir y desarrollar nuevos conocimientos para resolver situaciones problemáticas; afortunadamente, estos están cada vez más cerca gracias a los avances de la tecnología, el desarrollo de la creatividad, las investigaciones que se hacen desde la academia y el ejercicio de pensar en la manera de resolver los problemas.

El déficit de vivienda en todo el mundo es una de las situaciones que requiere de nuevos saberes y de los avances de la tecnología. Aunque se ha transitado de vivir en casas hechas de manera rudimentaria y tradicional a construcciones muy sofisticadas, que usan sistemas más desarrollados, existe un desconocimiento de tecnologías como la impresión 3D, en la que parece estar la solución para muchas personas y familias de escasos recursos, o con un poco de mejores condiciones económicas, que necesitan una vivienda menos costosa y que pueda ser construida en menor tiempo; en todos los lugares del mundo se está necesitando la construcción de unidades familiares que mejoren un poco la calidad de vida. A este fenómeno no escapa Bucaramanga, capital del departamento de Santander.

Cabe señalar que cuando aparecen los problemas, los gobiernos y las instituciones trabajan para encontrar soluciones. Comunidades de investigación, grandes y pequeñas empresas y las universidades, desde sus programas como el de arquitectura, toman la bandera y contribuyen a que de alguna manera esto cambie. Es así como la Universidad Antonio Nariño a partir de sus propósitos misionales impulsa estudios e investigaciones enfocados a hallar formas de mejorar el panorama, y a la vez nutrir sus líneas de investigación, compromiso que enriquece los conocimientos.

Este estudio se enfoca desde la línea de investigación “Medio Ambiente y Hábitat Popular” y está enmarcado en la categoría de: “Investigación”, y la subcategoría: “Tecnología” Pero, además de considerar, que en la impresión 3D radica la solución para disminuir el déficit de vivienda, en regiones como Bucaramanga, compromete a varios campos de conocimiento relacionadas con: las humanidades, en cuanto están implicados los seres humanos con sus conocimientos y su cultura y la creación, atendiendo a la posibilidad de innovar y transformar espacios y de hacer diseños con la impresión 3D.

Igualmente, las comunicaciones, porque todo está mediado por el lenguaje usado para la transmisión de la información de manera clara, y las tecnologías, toda vez que se emplean para construir conocimiento que pueden aplicarse en muchas situaciones de la vida humana.

Ahora bien, el origen de la impresión 3D se remonta a 1980 con la creación de la estereolitografía, láser de alta potencia que convierte una resina líquida en un material sólido; allí inició la fabricación aditiva, proceso que fue mejorando con el paso de los años para esparcir sus usos y aplicaciones en áreas como: la medicina, las artes plásticas, el diseño y la gastronomía, entre otras.

Como resultado fueron creados nuevos tipos de fabricación aditiva, como el “modelado por deposición fundida”; un tipo de impresión donde el material utilizado es depositado capa por capa con gran precisión, produciendo cualquier tipo de forma que sea necesaria.

Este nuevo tipo de fabricación se emplea en áreas como la construcción de modelos a escala y en el desarrollo de proyectos de construcción más ambiciosos. Las empresas que la implementan han podido fabricar muros, fachadas, cubiertas y otros elementos arquitectónicos con mayor productividad y eficiencia. Estas empresas, en su mayoría de países desarrollados

como Estados Unidos y China, se dedican únicamente a la fabricación con esta tecnología logrando reducir costos y tiempo en este proceso constructivo.

Cabe señalar, que se busca evaluar la viabilidad de esta tecnología para su posible aplicación en Bucaramanga (Santander) con el estudio de aspectos como: lo constructivo-técnico, lo ambiental, la relación costos/tiempos, lo social y lo estructural, y otros factores, y con esta información diseñar una guía técnica acerca de la impresión 3D.

Cabe señalar que las principales fuentes de información son las investigaciones adelantadas alrededor del mundo donde se estudia la construcción con impresión 3D para buscar alternativas encaminadas a mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción y superar diferentes problemas relacionados con el déficit de vivienda. La información es importante a la hora de determinar las ventajas, desventajas y requerimientos que tiene la construcción de viviendas con impresión 3D.

Se ha previsto un objetivo general que contempla realizar un estudio para determinar la viabilidad de aplicación de las impresiones 3D como alternativa para la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander, aportando al sector de la construcción el conocimiento sobre la implementación de esta tecnología.

Ahora bien, para su alcance se diseñaron 3 objetivos específicos relacionados con el análisis de investigaciones de construcción con impresión 3D para entender su funcionamiento y los requerimientos técnicos, la determinación de ventajas y desventajas de esta impresión en la construcción de viviendas y el diseño de la guía técnica sobre el uso de la impresión 3D en la construcción de viviendas.

En cuanto a la metodología y al método se precisa que es un proceso de esencia mixta (cualitativa y cuantitativa), que implica una descripción detallada de los aspectos relacionados

con la impresión 3D, en cuanto a proyectos y experiencias donde esta se ha aplicado y que pueden leerse en diversos documentos, como tesis, boletines y artículos científicos producidos y publicados a nivel nacional e internacional. Incluye la descripción del problema, la recolección y manejo de la información, el estudio técnico acerca de la impresión 3D y el balance de ventajas y desventajas de esta novedosa tecnología.

El documento contiene 5 (cinco) capítulos dedicados a los marcos: preliminar, teórico, normativo, contextual y proyectual. En el primero se presenta el problema de investigación, los objetivos, la justificación, el alcance y la hipótesis. El marco teórico refleja el estado del arte frente a la impresión 3D, el objeto de estudio y los referentes de interés para el trabajo.

En el marco normativo se concretan elementos legales relacionados con la impresión 3D, tanto a nivel internacional como nacional, y las normas a aplicar en la construcción de viviendas en Bucaramanga. El marco contextual recoge aspectos sobre el entorno político-económico, sociocultural y el análisis multiescalar, temas neurálgicos para entender el problema y la posible solución.

El marco proyectual recoge aspectos técnicos, ambientales, sociales, la relación costo/tiempo, las ventajas, desventajas y requerimientos de la fabricación aditiva o impresión 3D, importantes para la investigación. Se cierra con las conclusiones y demás aspectos de rigor de una monografía.

En suma, este ejercicio de investigación afronta desde la academia y desde la formación de profesionales en arquitectura, la problemática en torno a la posibilidad de implementar la tecnología de la impresión 3D en la construcción de vivienda de interés social o de otro tipo, información que se obtendrá luego de adelantar el estudio.

1. Marco Preliminar

1.1 Problema de Investigación

A lo largo de la historia han surgido un gran número de conocimientos, unos, por algunas razones se difunden más que otros. En algunos, que no son de gran conocimiento social y hasta académico, están soluciones muy importantes y de gran impacto en actividades como la construcción de viviendas, donde han sido usadas diversas tecnologías que afectan las estructuras, el diseño, la materialidad, el tamaño, la forma e igualmente, los costos y los tiempos de producción, conceptos que varían según la ubicación, la cultura y el avance tecnológico.

A medida que el mundo avanza se originan soluciones y a este fenómeno no escapa la construcción de las viviendas y las demás formas arquitectónicas; una de esas transformaciones se evidencia en la aplicación de la impresión 3D en el campo de la construcción. Al respecto Medina (2021) afirma que en: “la tecnología de las impresiones 3D (...) se exponen las posibilidades de esta técnica, haciendo especial hincapié en las impresoras 3D aplicadas a la construcción” (p.1), tema que necesita revisarse para determinar la reducción de costos y tiempo en la producción de viviendas, especialmente, para la ciudad de Bucaramanga.

Este problema involucra a las universidades y especialmente a los programas de arquitectura que buscan soluciones a situaciones como la que aquí se plantea. En consecuencia, la Universidad Antonio Nariño, desde su compromiso misional, considera la formación de profesionales capaces de liderar y asumir procesos investigativos de acuerdo con las dinámicas que se viven en el mundo y en el campo de las ciencias. Además, adelantar estos estudio es un testimonio y una manera de fortalecer la investigación en los claustros universitarios.

Esta situación problema puede ser uno de los focos de estudio por parte de la universidad, toda vez que, entra en coherencia con el campo de sus objetivos, ya sea en el ejercer el liderazgo en la investigación en Ciencias, Artes y Tecnología para responder a los desafíos de los entornos

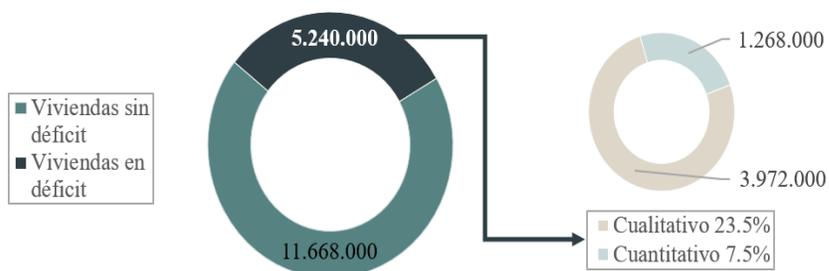
donde ella tiene su accionar, o a la hora de contribuir a formar un talento humano mejor preparado, en este caso los futuros profesionales quienes adquieren más conocimientos y desarrollan otras competencias; objetivos que se logran con el desarrollo de esta investigación.

El problema implica, también, la posibilidad de ver soluciones para la provisión de viviendas, situación importante para una sociedad que la concibe como una estructura permanente y privada, que no solo se reduce a un espacio físico, sino que es también un “concepto cognitivo, afectivo y social” (Amerigo y Pérez-López, 2019, citado por García 2014, p.2), estructura que, en su construcción, los conceptos se han transformado y modernizado con la implementación de las nuevas tecnologías, como la impresión 3D que facilita la construcción de edificaciones “en un corto tiempo y con costes y resistencia mejor a las tradicionales” (Medina, 2021, p. 63).

Cabe anotar que la situación de la vivienda a nivel mundial es muy preocupante y por esta razón se buscan soluciones para bajar los costos y poder satisfacer esta necesidad a más familias. Según (Melo (2015), la ONU, para el año 2030, el 40% de la población mundial deberá tener acceso a vivienda, hecho al que puede contribuir el uso de las impresiones 3D. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) cada año la situación de vivienda en América Latina es más compleja y en Colombia se ha caracterizado por urbanizaciones populares, crecimiento desordenado y las migraciones del campo a la ciudad, trayendo como consecuencias el déficit habitacional. Según el DANE, en 2021, existen viviendas que tienen deficiencias estructurales, conllevando a la construcción de nuevas unidades habitacionales (DANE, 2021).

Figura 1

Número de viviendas en déficit habitacional – DANE 2021



Nota: Adaptado de *Boletín Técnico - Déficit Habitacional* (p. 4), por Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2022, DANE (www.dane.gov.co). Licencia.

Según el Boletín del DANE (2021) el déficit habitacional en las cabeceras municipales fue del 20,4 % y en los centros poblados y rurales fue del 68,2 % y 47,5 % donde las viviendas son muy precarias.

Figura 2

Situación habitacional en algunas regiones.



Nota: Adaptado de *Déficit habitacional en Colombia* [Fotografía], por Óscar Bernal, 2020, El Tiempo (www.eltiempo.com). Licencia.

En el caso de Santander, el DANE (2021) muestra que el porcentaje de hogares según el componente del déficit cualitativo es el siguiente:

Tabla 1

Porcentaje de hogares según el déficit cualitativo en viviendas

Hacinamiento mitigable	Material de pisos	Cocina	Agua para cocinar	Alcantarillado	Energía	Recolección de basuras
45,7	8,9%	6,9%	38,6%	24%	1,5%	6%

Nota: Adaptado del DANE ECV 2021.

Igualmente, el informe del DANE permite comparar, del 2021, el déficit cualitativo de vivienda a nivel nacional y el departamento de Santander.

Tabla 2

Comparativo del déficit de vivienda entre los datos a nivel nacional y el departamento de Santander en el 2021

Territorio	Hacinamiento amigable	Material de pisos	Cocina
Nacional	11%	2,9%	3.1%
Santander	9,5%	1,8%	1.4%

Nota: Adaptado del DANE ECV 2021

Ahora bien, la búsqueda de soluciones para construir vivienda condujo a la impresión 3D, tecnología implementada en pro de la eficiencia de proyectos de construcción mediante el modelado por deposición fundida (FDM). Cabe destacar, que cada vez se crean nuevas formas de implementarla, nuevos materiales, máquinas y metodologías que reducen costos, tiempo y cantidad de residuos, volviéndola cada vez más accesible.

En Colombia, durante el año 2017 se realizó el primer prototipo de vivienda 3D con mezcla de concreto, apta para la fabricación aditiva, realizado por la empresa Concreto, que creó, también, la primera impresora de gran escala en Latinoamérica, con tecnología Siemens y diseño local. De esta manera, lograron tener buenos resultados en aspectos como: costos, tiempo, sostenibilidad y conocimiento de la tecnología.

En suma, se necesita saber más sobre la impresión 3D como alternativa para la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga aportando al sector de la construcción el conocimiento sobre su implementación para la reducción del déficit de vivienda nueva a menos costo y en menores tiempos de fabricación.

1.2 Objeto de estudio

El objeto de estudio es la impresión 3D, tecnología que será analizada para determinar diferentes aspectos que van a dar idea de las ventajas, desventajas y la viabilidad de responder con este tipo de construcción al déficit habitacional de Bucaramanga, Santander, información que se recogerá en una guía técnica para su conocimiento y divulgación.

1.3 Población objetivo

La población de este estudio corresponde a los habitantes del área Metropolitana de Bucaramanga con el fin de poder estudiar una población a escala micro, así como los factores que influyen en la implementación de esta tecnología en esta ciudad. Bucaramanga, según el último censo de población, tiene 528.855 habitantes.

1.4 Pregunta de investigación

La pregunta de investigación es la siguiente: ¿De qué manera la incorporación de tecnologías de vanguardia, como la impresión 3D, en la construcción de vivienda, puede mejorar los rendimientos y disminuir los costos y tiempos de producción?

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo General*

Realizar un estudio a cerca de la impresión 3D para considerarla como alternativa tecnológica para la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Analizar proyectos y documentos de investigaciones de construcción con impresión 3D realizados a nivel mundial que permitan entender su funcionamiento y requerimientos técnicos.

- Identificar las ventajas y desventajas que la impresión 3D puede aportar a la construcción de vivienda en el área Metropolitana de Bucaramanga, Santander.
- Diseñar la guía con el estudio técnico y económico de la impresión 3D para considerar esta técnica en la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander.

1.6 Alcance

El alcance del estudio será descriptivo, detallando la aplicación de la impresión 3D en la solución del problema. Se evaluarán los resultados a nivel internacional sobre aspectos de la construcción con impresión 3D, algunos proyectos de vivienda que implementan esta tecnología, y se determinarán los requerimientos sociales, ambientales y técnicos en su aplicación, hecho que involucra el reconocimiento de la población que hace parte la demanda de vivienda nueva en el área Metropolitana de Bucaramanga.

1.7 Justificación

Este estudio se justifica desde diversos motivos. El principal es el de resolver el problema en torno a la impresión 3D, nueva tecnología que viene siendo implementada en la construcción de viviendas favoreciendo la reducción de tiempo y costos. Se requiere, entonces hacer un estudio de sus diversos aspectos, requerimientos, y demás, para tener claridad sobre las ventajas y desventajas a la hora de hacer uso de ella, en regiones como el área Metropolitana de Bucaramanga, donde las familias pobres quieren habitar en viviendas dignas, con barrios habitables, no marginales, que las saquen del hacinamiento y de condiciones infrahumanas.

Según Díaz (2023) “gran parte de la población (...) en Bucaramanga, vive en asentamientos informales, donde la mayoría de las viviendas no cumplen con los códigos de

construcción” (p. 51), situación que podría resolverse si se demuestra que la impresión 3D es una solución que reduce costos y tiempos en la construcción de viviendas.

Estudios sobre la implementación de esta tecnología usada en países como China y Estados Unidos demuestran que la fabricación con esta tecnología si ayuda en la reducción de costos y tiempo gracias a la automatización de este proceso constructivo. Pensar en la incorporación de tecnologías novedosas como la impresión 3D es la oportunidad de estudiarla, de ampliar los conocimientos, de adelantar proyectos de investigación, tanto documental como en la práctica, si se decide por esta última.

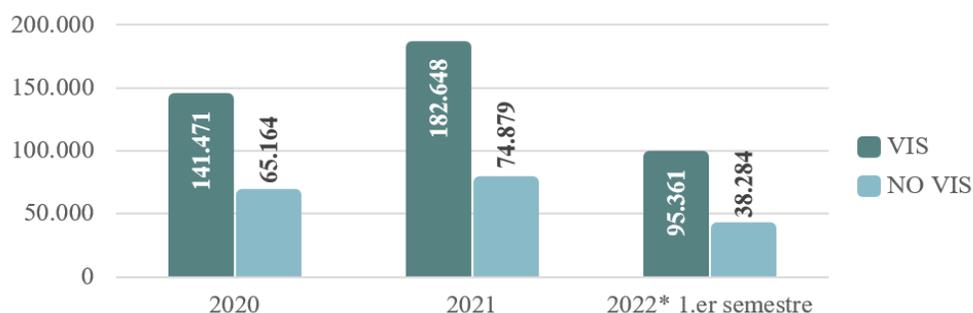
El segundo motivo tiene relación con el interés de encontrar soluciones al déficit de vivienda. Hoy se habla de tener viviendas sostenibles. Entonces, la producción de casas a bajos costos y en menor tiempo, es una solución que ofrece las impresiones 3D, tema que hay que estudiar para explicitar los conocimientos y la viabilidad que implica este tipo de construcción.

En el 2022, LaHaus y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), Vivienda, en América Latina, estudiaron algunas causas que dificultan el acceso a la vivienda en nuestro país y la necesidad de construir 400.000 viviendas anuales (ocho millones durante las siguientes dos décadas) y una inversión extra de aproximadamente el 0,5% del PIB nacional, el cual es de 2,8% para la construcción de vivienda actualmente (Saiz, 2022). Para el caso de Santander, el boletín del DANE (2021) ha calculado en un 26,8% este déficit, entonces, esta situación es un reto al que se le deben buscar soluciones.

La construcción de viviendas en el 2020 fue superior en un 54%, mientras que en 2021 y 2022, estuvo en un 60%, dando como resultado una media del 58% de superioridad de producción de vivienda de interés social (VIS) con respecto a la vivienda particular en lo que va de esta década, demostrándose que existe la necesidad de encontrar respuestas a este déficit.

Figura 3

Viviendas vendidas según rango de precio – Década actual



Nota: Adaptado de “*Informe de Gestión Camacol 2021-2022*” (p. 14), por S. Forero, 2022, Camacol. Licencia.

Las cifras presentadas por LaHaus y el MIT, son similares a las presentadas por Camacol en 2019, donde se planteó la necesidad de construir 3,2 millones de viviendas durante la presente década. Esto equivaldría a 320.000 viviendas por año. En el caso de Bucaramanga, urge encontrar soluciones acertadas para el déficit de vivienda, situación que es compleja. Díaz (2023) afirma que: “la asequibilidad de la vivienda en Bucaramanga, desde una perspectiva comparativa, es insuficiente, por tanto, la política pública no ha logrado el impacto que se requiere (p. 10).

El estudio también lo justifica el hecho de estar ligada a una de las líneas de investigación del programa de arquitectura de la Universidad Antonio Nariño desde donde se impulsa los estudios sobre el Medio Ambiente y Hábitat Popular. En el Programa de Arquitectura se haya un gran respaldo al encuentro de soluciones como la que aquí se plantea. El papel de esta área del saber y el rol del arquitecto han cambiado y hoy buscan soluciones que favorezcan, no solo a los sectores pudientes, sino a las familias de escasos recursos, además de aportar conocimiento y contribuir con la formación de profesionales con mayores competencias.

En suma, el estudio acerca de la construcción con impresión 3D y la viabilidad en la construcción de vivienda nueva, además de enriquecer los conocimientos desde la academia, gracias a la Universidad, al Programa y a la intención de formar excelentes profesionales, puede ser la solución de quienes requieren de viviendas de interés social, o talvez de otro tipo.

1.8 Hipótesis

Una de las alternativas para mejorar los rendimientos y los costos en la producción de vivienda puede estar en la incorporación de la tecnología de impresión 3D para la construcción, requiriéndose un estudio detallado de todo lo que involucra.

1.9 Metodología

La naturaleza de este estudio es mixta: cuantitativa y cualitativa. Habrá una descripción de la aplicación de la impresión 3D y de aspectos relacionados con esta, se analizarán los resultados de las investigaciones a nivel internacional sobre la construcción con impresión 3D, así como de proyectos de vivienda que implementan esta tecnología. Se determinarán los requerimientos sociales, ambientales y técnicos para la implementación de esta tecnología en el país y se generarán conclusiones sobre las ventajas y desventajas que esta tecnología puede traer para la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga, en Santander.

1.9.1 Método

Se considera el uso de un enfoque mixto. Al respecto Pole (2009) afirma que: “las metodologías mixtas pueden conceptualizarse como el uso o la combinación de metodologías de investigación provenientes de las tradiciones cuantitativas y cualitativas” (p. 37), por tanto, es necesario tener en cuenta que algunos asuntos “no pueden responderse con metodologías cuantitativas, mientras otras no pueden responderse mediante estudios cualitativos” (Pole, 2009, p. 39), y en consecuencia hay que combinarlos.

El enfoque mixto facilita el análisis cualitativo y cuantitativo de la información emanada de documentos (artículos e informes depositados en revistas científicas y en la base de datos Scopus,) y estudios de investigación sobre el tema de la impresión 3D, factores sociales, técnicos-funcionales, ambientales, funcionamiento, proyectos de vivienda, costos-tiempo con el uso de la I3D, y los datos estadísticos de boletines sobre el déficit de vivienda. Además, las estrategias y herramientas tienen que ver con el análisis documental.

El estudio es descriptivo, y la población corresponde a la que requiere vivienda nueva en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Además, la muestra utilizada es no probabilística, mediante el caso de estudio a escala local en la ciudad de Bucaramanga (Santander), que, según el último censo de población, tiene 528.855 habitantes y 175.107 hogares de los cuales 9.795 están en déficit cuantitativo (5,6%) (2018). Cabe anotar que para el procesamiento de datos se usará la estadística descriptiva, la cual permite mostrar la información recolectada de manera cuantitativa.

1.9.2 Fases de la investigación

1.9.2.1 Descripción del Problema. El problema gira en torno al tema de la implementación de las impresiones 3D en la construcción de vivienda y condujo a estudiar esta temática para determinar su funcionamiento, requerimientos de las estructuras, cantidad de material que se necesita, componentes que produce, como: moldes de refuerzo, columnas, estructuras modulares. En consecuencia, se trabajó en la búsqueda de documentos, que bien, pudieran proporcionar información acerca de esta nueva tecnología.

1.9.2.2 Recolección y manejo de la información. En esta etapa fue importante la búsqueda y localización de todos los artículos sobre estudios nacionales e internacionales con

respecto a la construcción con impresión 3D para generar el análisis de la funcionalidad y viabilidad de esta tecnología para la construcción de viviendas.

1.9.2.3 Estudio técnico por categorías. Del estudio se establecieron las siguientes categorías: constructivos-técnicos, ambientales, costos/tiempos, sociales y estructurales.

La categoría constructivos-técnicos tiene que ver con aspectos como concretos convencionales, geopolímeros y aditivos que se pueden aplicar en determinados momentos y dependiendo del tipo de proyecto e impresora que se esté usando. La categoría ambiental se relaciona con mezclas naturales, materiales reciclables, la disminución de los desperdicios en obra y transporte. Algunos casos de empresas que realizan un relleno en los muros con materiales ecológicos y sostenibles como lo son las fibras de arroz.

La categoría costo/tiempo se relaciona con: mano de obra, materiales, equipos y programación. La impresión 3D en la construcción produce un cambio de mano de obra diferente a las de métodos tradicionales porque al tener una máquina que debe ser manejada y calibrada por computadora, requiere de una mano de obra capacitada y preparada.

Ahora bien, la categoría social se refiere a la posibilidad de que esta nueva industria y tecnología se adapte a una producción amena y respetuosa para el medio ambiente, ya que se vuelve más sencillo el desarrollo de diseños y prototipos y esto genera un ahorro en tiempos y materiales. Y la categoría estructural tiene que ver con el tipo de fundición de muros, el remplazo de una estructura convencional de columnas y vigas remplazadas por una nueva estructura, netamente por muros en la que actúa el diseño para su resistencia.

1.9.2.4 Balance de la información estudiada. Se estudiarán variables técnicas, sociales y ambientales que puede presentar esta aplicación. Así se pueden generar diferentes requisitos, análisis de funcionalidad y contextos comparativos

1.9.2.5 Conclusiones, Ventajas y desventajas. Los diferentes estudios permitirán generar conclusiones sobre la viabilidad de esta tecnología para la construcción de vivienda.

2. Marco Teórico

2.1 Estado del Arte sobre la impresión 3D

2.1.1 Generalidades

La impresión 3D es una tecnología que actualmente está de moda, aunque poco se conoce de ella. Gardiner (2011) la clasifica dentro de las 5 tecnologías emergentes que impactan muchos campos, entre ellos el de la construcción. Su inicio se ubica en 1976 y son varios los estudios que sobre ella se han hecho. Solo en el 2006 se creó la primera máquina de impresión, de ahí en adelante ha sido usada en varios campos y actividades; distintas empresas se fueron interesando en su implementación. López (2016) citado por Campillo afirma que “la impresión 3D se concibe como una revolución en los mercados” (2017, p. 6), poco a poco entró a la actividad de la construcción usándose para modelos, maquetas y otras impresiones a gran escala, como la escala del edificio y la producción de hormigón.

2.1.2 Fabricación de hormigón

El hormigón, que se fabrica con ayuda de la impresión 3D, es una mezcla de cemento, agua y otros agregados. Es un producto económico, pero al producirlo con el uso de las impresoras 3D, se logra que sea más barato, se obtiene más rápido y es más seguro y eficiente. En la aplicación de la impresión 3D se ha empleado el hormigón armado o el hormigón estructural, que es la combinación del acero de refuerzo, cuyas propiedades físicas y mecánicas se unen con el hormigón simple, pero se ha encontrado que este último puede sufrir de corrosión, desventaja muy importante al entrar en contacto con el oxígeno, presentándose “un desgaste o una alteración física (oxidación); (...) peligroso conforme al efecto del paso del tiempo de las edificaciones, principalmente en lugares como costas, en ambientes donde existe humedad, en ambientes salinos; donde el proceso de corrosión aumenta significativamente (Zambrano, 2022,

p.1). Entonces, para superar esto se han hecho estudios en los que se usan plásticos o polímeros, que según, Zambrano (2022) son materiales usados “en la estructura de las edificaciones, pretendiendo definir una estructura plástica que pueda fabricarse mediante impresiones en 3D; que reemplace la armadura de hierro usada comúnmente en las construcciones” (p.1) ayudando a evitar la corrosión y disminuyendo significativamente el peso. Existen algunas empresas como D-Shape, Contour-Crafting [6] y Concrete Printing, que ya producen “elementos de hormigón a gran escala, de forma extrusionada o utilizando impresoras 3D” (Torres, 2016, p. 7), convirtiéndose en un sistema muy novedoso de fabricación aditiva.

Ahora bien, sobre la fabricación de hormigón digital y sobre el refuerzo de acero impreso Mechtcherine, Grafe, Nerella, Spaniol, Hertel, y Füssel (2018) consideran que se está dando un rápido crecimiento en todo el mundo. Dejan ver que varias tecnologías sobre la impresión 3D con hormigón han permitido el aumento y desarrollo de proyectos enfocados hacia la colocación de hormigón, pero que, en cuanto a la incorporación del refuerzo son aún rudimentarias atrasando la misma impresión, porque hay la obligación de usar acero en casi todas las aplicaciones estructurales. Además, que urge usar la impresión 3D de elementos estructurales de refuerzo.

Mechtcherine, V., Grafe, J., Nerella, VN, Spaniol, E., Hertel, M. y Füssel, U. (2018) describen el proceso de impresión 3D y hacen una demostración de su viabilidad en la producción de refuerzo de acero vertical. Igualmente investigaron sobre las caras de fractura sur donde demostraron un modo de falla dúctil de las barras de acero impresas. Ellos consideraron la viabilidad de la impresión 3D de refuerzos de acero mediante soldadura por arco metálico con gas. Los aportes de estos investigadores son muy importantes al probar que se pueden obtener barras de acero impresas y hormigón de grano fino imprimible mediante experimentos de

extracción. Ellos piensan que este proceso puede mejorarse al introducir nervaduras adicionales para lograr la obtención de barras.

Sobre la impresión de elementos de hormigón armado se estudian elementos fabricados con impresión 3D enfocándose especialmente en el diseño y su comportamiento bajo compresión. Los elementos estudiados fueron fabricados con una impresora de la empresa italiana WASP, estos son diferentes tipos de vigas que permitieron crear una discusión acerca de los desafíos y limitaciones del uso de la impresión 3D para estructuras en hormigón. Algunos de los temas técnicos más importantes son: el efecto del proceso de impresión (capas) en la resistencia del material y la integración de refuerzos de acero en las estructuras impresas.

Furet, Poullain y Garnier (2019) sobre las características del hormigón consideran que este es autocompactante lo suficientemente rígido para soportar capas superiores. Este no debe deformar el encofrado en más de 5mm por 1m de altura para cumplir con las respectivas normativas.

Ahora bien, sobre de las características del concreto cabe decir que debe tener un equilibrio entre la viscosidad y la edificabilidad, es decir, que debe tener la capacidad de ser extruido por el cabezal de impresión y al mismo tiempo ser altamente resistente para compensar la debilidad de los puntos de conexión entre capas. Al respecto, Aspronea, Auricchiob, Mena, y Mercurib, (2018) abordan en este estudio, el concreto utilizado que tuvo una relación agua/cemento de 0,39, con un agregado que no supera los 4mm.

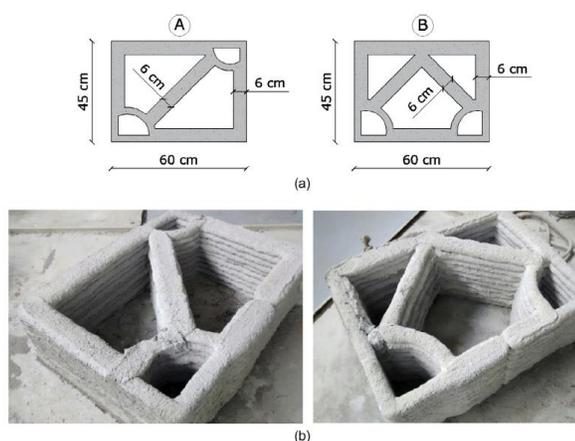
Por otra parte, se añadió un 0,5% en peso de fibras cortas de polipropileno, las cuales, evitan el agrietamiento por contracción plástica, pero hacen necesario el ajuste de la mezcla con un superplastificante de policarboxilato para no afectar la bombeabilidad del material. En el

mismo sentido, después de 28 días de curado, la resistencia cúbica media fue de 53,5 MPa, mientras que la resistencia cilíndrica media fue de 44,4 MPa, un 27%.

Con relación a las vigas impresas, Aspronea, Auricchiob, Mena, y Mercurib (2018) exponen que se implementaron dos tipos de vigas impresas con hormigón armado. La primera es una viga con un cordón superior continuo de hormigón para soportar los esfuerzos de compresión inducidos por el comportamiento de flexión, un cordón inferior de acero para equilibrar los esfuerzos de compresión superiores y soportar los esfuerzos de tracción, y puntales diagonales.

Figura 4

Dos tipos de segmentos impresos para las vigas



Nota. Adaptado de “Impresión 3D de elementos de hormigón armado: Tecnología y enfoque de diseño” (p. 223), por C. Menna, 2018. Todos los derechos reservados [2018] Elsevier Ltd.

La segunda es una viga de forma curva con una sección transversal rectangular de 0,20 m y 0,45 m de ancho y alto, respectivamente. La viga se corta en cinco segmentos, cada segmento debe resistir momentos flectores y fuerzas cortantes variables. Están formados por 10 capas con una altura total de 20 cm y están diseñados junto con el sistema de refuerzo para garantizar un refuerzo de tracción adecuado y bloquear los segmentos en un único elemento continuo como se muestra en la Figura

Figura 5

Impresión 3D de elementos de hormigón



Nota. Adaptado de “*Impresión 3D de elementos de hormigón armado: Tecnología y enfoque de diseño*” (p. 225), por C. Menna, 2018. Todos los derechos reservados [2018] Elsevier Ltd.

Sobre el comportamiento estructural, Aspronea, Auricchiob, Mena, y Mercurib (2018) concluyeron que la impresión 3D se presenta adecuada para la fabricación de elementos en hormigón, obteniendo un buen comportamiento mecánico bajo flexión y compresión cuando se complementa con acero de refuerzo. Por otra parte, se demostró que las vigas impresas tienen una reducción significativa del peso en comparación con una viga de hormigón convencional.

Figura 6

El proceso de impresión y segmento de hormigón impreso



Nota: Adaptado de Artículo sobre *Impresión 3D de elementos de hormigón armado: Tecnología y enfoque de diseño*, publicado en Revista *Construcción y Materiales de Construcción*

Según Aspronea, Auricchiob, Mena, y Mercurib (2018), una de las principales dificultades de la impresión 3D de elementos de hormigón es la integración con el acero de refuerzo, la cual suele ser imperfecta y puede generar fallas en la estructura. Asimismo, otra dificultad mencionada es la del espesor de la unión entre capas, el cual puede afectar la resistencia a la compresión si no es el adecuado.

2.1.2 La fabricación aditiva desde la impresión 3D

La fabricación aditiva o prototipo rápido es una de las apuestas importantes en el campo de la construcción desde los 70. Según Campillo (2017) esta técnica es considerada toda una revolución en la arquitectura. Este es un proceso que consiste en la unión, capa a capa, de materiales para crear objetos desde un modelado de datos 3D. Esta usa la tecnología para producir objetos tridimensionales desde un modelo digital. Según Torres (2016) “se trata de una tecnología idónea para reproducir cualquier objeto que se quiera, siempre que pueda dibujarse digitalmente” (p. 22).

El trabajo de Panda, Paul, Hui, Tay y Tan lo enfocan hacia la fabricación aditiva de geopolímeros para la construcción sostenible y abordan las propiedades mecánicas de los geopolímeros impresos en 3D y su comparación con muestras fundidas, así como las limitaciones y el potencial de la impresión 3D en la industria de la construcción. Presentan una metodología para formular materiales geopoliméricos para impresoras 3D basada en polvo. En especial el estudio se enfoca en un tipo de geopolímero a base de ceniza volante, producto de los residuos de la combustión del carbón de las centrales termoeléctricas.

Silva, Ñañez, Zavaleta, Burgos, Kim, Ruiz, y Nakamatsu en su artículo sobre construcción aditiva exponen la posibilidad de implementar la mezcla de impresión 3D basada en elementos extraídos del suelo y materias primas locales con el fin de comprobar la viabilidad

de una estructura impresa en 3D para lugares apartados, debido a la dificultad para acceder a cementos hidráulicos en estos lugares. La mezcla elaborada se evalúa en aspectos estructurales y de diseño. Estas impresiones de matrices a base de tierra estabilizadas se logran con un gel de fécula de patata y fibras de sisal.

2.1.3 Impresión de estructuras

Los temas estructurales fueron otro motivo de consulta y estudio. Uno de ellos contempló un novedoso mortero aditivo que aprovecha el curado interno para mejorar la unión entre capas de componentes cementosos impresos en 3D. El hormigón para impresión 3D evidencia virtudes, pero, también problemáticas, como la falta de cohesión entre las respectivas capas que lo componen y por ende la generación de una afectación de adherencia y compactación entre cada capa.

A partir de esto se propone una solución mediante la mezcla de cemento Portland ordinario (OPC) y cemento de sulfoaminato de calcio, que brinda unas propiedades nuevas y adecuadas a la función del hormigón, junto a esto se le incluye una fibra de celulosa (CF), la cual retiene el exceso de agua superficial para la hidratación, y finalmente se incorporan dos aditivos, los cuales son arena de sílice y relleno de piedra caliza con el objetivo de lograr un empaquetamiento denso (Ma, Salman, Wang, y Wang, 2020).

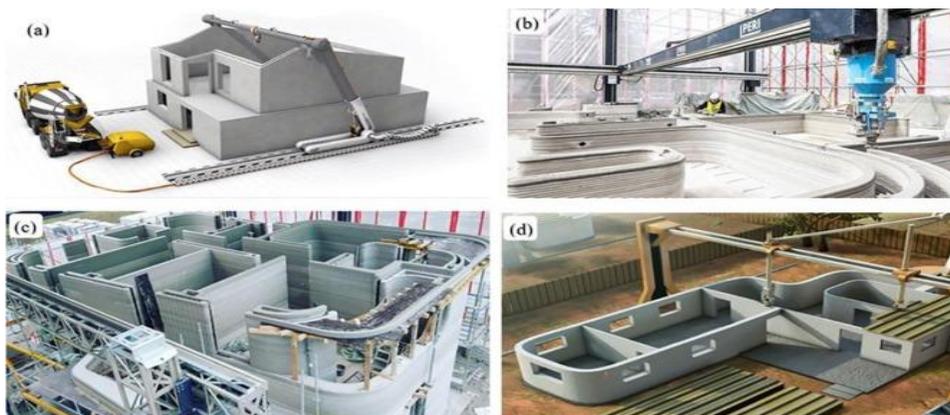
Ma, Salman, Wang, y Wang, (2020) exponen que en las respectivas pruebas se evidencian una gran aprobación en resultados de adherencia y compacticidad en el hormigón, donde las capas se comportan de una manera positiva, logrando una unión superior al 96% y al 94% de unión. Con respecto a la interfaz obtenida, las fibras de celulosa mejoran la unión de las capas y la hidratación de estas. En suma, se puede afirmar que la propuesta presente mejorara drásticamente uno de los problemas principales de la impresión 3d en hormigón, siendo esta una

técnica fácil, económica, rápida y de fácil aplicación, brindando resultados que favorecen la durabilidad y estabilidad estructural.

Ahora bien, con relación a las características del material, diseño de la mezcla, proceso de impresión y estrategias de refuerzo, autores como Ahmed, Askandar, y Jumaa (2022) aportan conocimientos sobre las estructuras impresas en concreto destacando temas importantes sobre los parámetros de influencia, las características del material y su comportamiento mecánico, así como su composición de partículas. resaltando las ventajas que tiene la impresión 3D para mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción, constituyéndose en una de las metodologías más viable para los problemas relacionados con la vivienda.

Figura 7

Imágenes del trabajo de Ahmed, G. H., Askandar, N. H., y Jumaa, G. B



Nota: Adaptado de *Science Direct.com*

En cuanto a los aspectos estructurales con el uso mortero aditivo que aprovecha el curado interno para mejorar la unión entre capas de componentes cementosos impresos en 3d, se puede deducir que se presenta una solución de concreto que aprovecha el curado interno para mejorar la adhesión entre capas, un factor muy importante para el estudio de esta tecnología, ya que puede ser crucial en la resistencia de una estructura impresa en 3D. El tiempo entre la adhesión de

capas no debe ser muy corto para que la capa pueda adquirir la suficiente fuerza para soportar la capa contigua, ni debe ser muy largo para que la adhesión entre capas sea óptima.

Sobre el comportamiento estructural, Aspronea, Auricchiob, Mena, y Mercurib (2018) consideran que la impresión 3D se presenta adecuada para la fabricación de elementos en hormigón, obteniendo un buen comportamiento mecánico bajo flexión y compresión cuando se complementa con acero de refuerzo. Por otra parte, se demostró que las vigas impresas tienen una reducción significativa del peso en comparación con una viga de hormigón convencional.

Figura 8

Primera estructura impresa in situ y progreso de impresión



Nota: Tomado de *La impresión 3D de edificios y componentes de construcción como el futuro de la construcción sostenible*

2.1.4 Estructura a escala real

Sobre la transición de la impresión 3D de pequeña escala a escala real en la construcción las investigaciones muestran que se puede evaluar la racionalidad de un modelo para impresión a escala real, mediante el estudio de parámetros y resultados de diferentes impresiones a escala; metodología implementada en Shanghái. Cabe resaltar que se imprimieron varios modelos a escala, con diferentes materiales, impresoras y parámetros, estableciendo relaciones cuantitativas sobre los distintos parámetros y su influencia en el peso del material, calidad, y tiempo de

impresión. Evaluando así la racionalidad del modelo 3D mediante métodos estadísticos que permitieron analizar los datos obtenidos.

Figura 9

Impresión 3D aplicada a edificaciones de escala natural



Nota: Tomado <https://departamento-ingenieria.pucp.edu.pe/noticia/impresion-3d-aplicada-a-edificaciones-de-escala-natural-reflexiones-desde-la-experiencia-pucp/>

También sobre la transición de la impresión 3d de pequeña escala a escala real se han hallado las ventajas de utilizar la impresión 3D para evaluar la racionalidad de un modelo que será impreso a escala real. El estudio de los resultados de las impresiones a escala permitió generar relaciones cuantitativas y cualitativas entre los parámetros de impresión. Además, es necesario considerar que hay factores que afectan el proceso y los resultados de impresión, evidenciando, según la tabla 1, los factores que influyen en el tiempo total de impresión, el peso del material y la calidad del acabado.

Tabla 3

Factores que influyen en el proceso de impresión

Símbolo	Descripción en el proceso de impresión	Influencia		
		Tiempo total	Peso material	Calidad
t_0	Tiempo de preparación			
t_u	Tiempo de postprocesado			
V	Volumen del modelo			

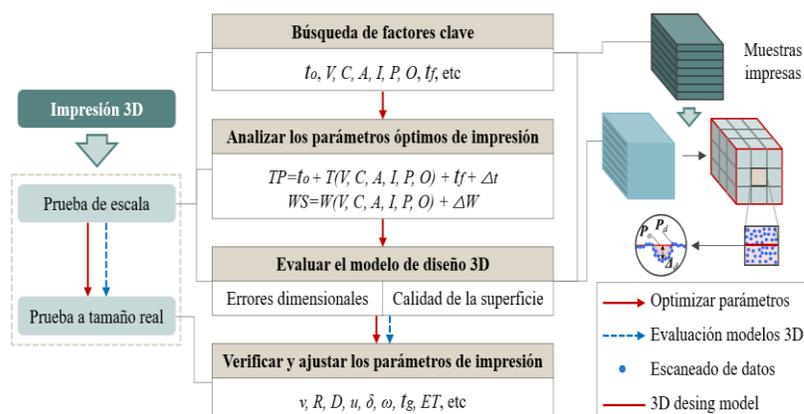
C	Complejidad del modelo			
A	Precisión			
I	Intensidad			
P	Patrón			
O	Orientación			

Note: Adaptado de Zuo, Zibo, Jian Gong, Yulin Huang, Yijian Zhan, Ming Gong, and Lulu Zhang 2019 *Construction and Building Materials* 208 350-360.

Según estas variables, en el estudio se cuantificaron y parametrizaron todos los factores, obteniendo así, las relaciones cuantitativas entre los parámetros mediante una serie de análisis de los resultados de las pruebas de impresión 3D a diferentes escalas. Estas variables y relaciones cuantitativas se muestran en la Figura 11

Figura 10

Relaciones cuantitativas y cualitativas de parámetros

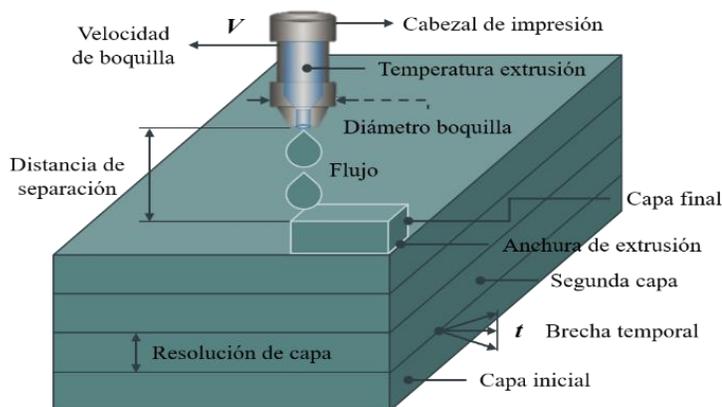


Nota. Adaptado de “Investigación experimental sobre la transición de la impresión 3D a escala a la impresión a tamaño completo en la construcción” (p. 350), por Z. Zuo, 2019. Todos los derechos reservados [2019] Elsevier Ltd.

En el mismo sentido, en la Figura 12 se muestran los factores que influyen en la impresión 3D, estos están relacionados con distancias, velocidades y temperaturas.

Figura 11

Factores de influencia en la impresión 3D

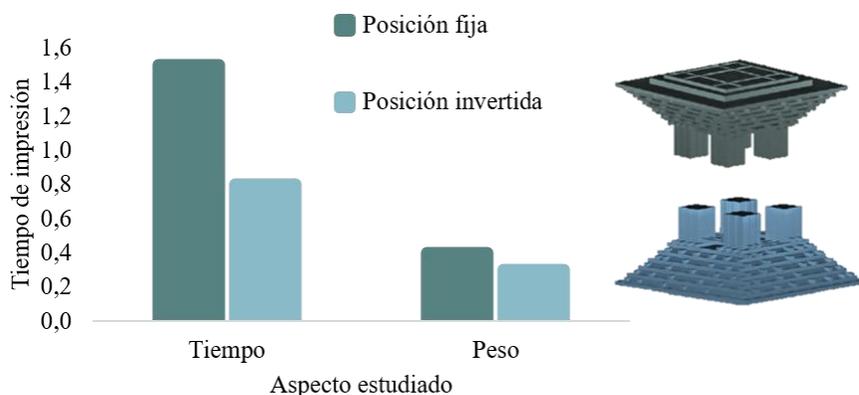


Nota. Adaptado de “Investigación experimental sobre la transición de la impresión 3D a escala a la impresión a tamaño completo en la construcción” (p. 352), por Z. Zuo, 2019. Todos los derechos reservados [2019] Elsevier Ltd.

Sobre la racionalidad del modelo con base en las pruebas a escala y como se observa en la Figura 13: tanto el tiempo de impresión como el peso de los suministros aumentan cuadráticamente con el aumento de la longitud de los modelos impresos, mientras que estos valores aumentan linealmente con el aumento de la altura de los modelos impresos. La orientación de la impresión no sólo afecta al tiempo de impresión y al peso de los suministros, sino que también tiene un gran impacto en las propiedades mecánicas o en la capacidad de carga de las muestras impresas en 3D.

Figura 12

Influencia de la orientación en el tiempo y el peso



Nota. Adaptado de “Investigación experimental sobre la transición de la impresión 3D a escala a la impresión a tamaño completo en la construcción” (p. 355), por Z. Zuo, 2019. Todos los derechos reservados [2019] Elsevier Ltd.

La impresión a escala real en la construcción se aplicaría únicamente para piezas prefabricadas ya que la imprimen en sitio donde solo tienen una manera de ser impresas. Y el tiempo de impresión y el peso aumentan lentamente a medida que aumenta la intensidad de impresión.

Ahora bien, los resultados experimentales permitieron evaluar la racionalidad del modelo 3D para optimizar los parámetros de impresión a tamaño real, evitando pérdidas y errores de diseño o parámetros. Es importante aclarar que los parámetros evaluados en los experimentos a escala no son totalmente aplicables a la construcción con impresión 3D en tamaño real debido a que tienen funcionamientos diferentes. En la Tabla 4 se muestran las diferencias entre el modelado por deposición fundida a escala real y a pequeña escala.

Tabla 4

Diferencias en el FDM según la escala

A ESCALA	A ESCALA REAL
Extrusión calentada y deposición fundida	Extrusión por presión
Resinas comerciales, termoplásticos, etc.	Concreto, geopolímeros, resinas más complejas, etc.

Si bien el funcionamiento es el mismo, las diferencias están en los materiales utilizados en la escala y en la forma en la que se extruye el material. Por eso, a continuación, se muestra en la Tabla 5 todas las posibles aplicaciones de la impresión 3D a escala en el ciclo de vida de la construcción tradicional.

Tabla 5

Impresión 3D a escala en el tiempo de vida de la construcción tradicional

Tiempo	Aplicaciones	Descripción
Planificación & Diseño	Prueba de apariencia conceptual	Verificar la racionalidad del modelo estructural complejo diseñado, la adaptabilidad y la coordinación entre los edificios exteriores diseñados y el entorno circundante
	Prueba de apariencia creativa	Modelos impresos visuales y táctiles, para lograr la comunicación accesible del diseñador
	Prueba de montaje estructural	Verificar la racionalidad de las estructuras diseñadas
	Prueba de rendimiento estructural	Pruebas de mecánica estructural como: pruebas químicas, pruebas de túnel de viento, etc., se utilizan para la optimización del diseño estructural
Producción & Construcción	Prueba de apariencia de licitación	Mejorar la imagen corporativa y la relación de licitación
	Prueba de apariencia de preparación	La comunicación y el análisis de los planes de construcción a través de los modelos impresos quedan libres de barreras durante la etapa de preparación de la construcción
	Prueba de apariencia de implementación	Simular y optimizar los planes de construcción mediante la impresión de modelos a escala durante la etapa de implementación de la construcción
	Prueba de apariencia de finalización	El modelo del proyecto se imprime una vez finalizada la construcción y se forman recuerdos para complementar los incentivos corporativos
Funcionamiento & Mantenimiento	Prueba de apariencia de funcionamiento	Un museo digital, formado por archivos de modelos impresos en 3D para diferentes proyectos, está disponible para la gestión de operaciones de seguimiento y proyectos similares

Nota: Zuo, Zibo, Jian Gong, Yulin Huang, Yijian Zhan, Ming Gong, and Lulu Zhang 2019

Construction and Building Materials 208 350-360.

Con relación al aumento de la resolución de capa se considera que es un aspecto muy influyente en el modelado por deposición fundida, este aumento tiene las siguientes afectaciones: aumento de errores de impresión, dificulta el proceso de control de impresión, aumenta el peso propio de una sola capa, reduce el alcance de la impresión en voladizo, limita la flexibilidad de

impresión, aumento de la diferencia de temperatura entre capas (grietas y alabeo de la estructura impresa) y dificulta la evaluación de calidad de la impresión.

En lo concerniente a estructuras más ligeras y otros aspectos Ahmed, Askandar y Jumaa (2022), dejan inferir que los elementos pueden imprimirse teniendo control de sus vacíos, creando estructuras más ligeras sin sacrificar resistencia. Además de permitir el uso de materiales únicos, los cuales pueden mejorar diferentes propiedades, como el aislamiento térmico.

Cabe señalar que para el proceso de impresión son tres las características; la primera la bombeabilidad del material; segunda, la extrusionabilidad que le permite al material ser depositado para construir la estructura; y, la tercera, la edificabilidad, característica que tiene el material de soportar su propio peso y las capas superiores contiguas sin colapsar ni pandearse.

Según Ahmed, Askandar y Jumaa (2022), “la cantidad de agua en la mezcla es directamente proporcional a la fluidez de la mezcla, mientras que actúa inversamente con la edificabilidad y la resistencia al endurecimiento, y podría conducir a un alto contenido de vacíos”. Los problemas de fluidez se resuelven con superplastificantes de policarboxilato, estos hacen que una parte del agua atrapada se libere con la dispersión de partículas.

Ahora bien, una mezcla de impresión 3D debe diseñarse estudiando los comportamientos tixotrópicos, reológicos y de unión entre capas. Las propiedades reológicas son las responsables de obtener una resistencia estructural y una adherencia aceptables, este aspecto tiene que ver con la fluidez y la deformación. Por otro lado, los comportamientos tixotrópicos se refieren a los cambios en la viscosidad con relación a la presión aplicada. En el mismo sentido, se establece que la forma de las partículas e ingredientes de la mezcla deben ser redondos, ya que, mejoran la capacidad de extrusión y evitan posibles bloqueos en la boquilla de impresión.

También, Ahmed, Askandar y Jumaa (2022) estudiaron la Influencia de la velocidad de boquilla y los parámetros de impresión, teniendo en cuenta que la velocidad y la longitud a la que se puede extruir el material afectan directamente el tiempo de duración de la impresión, y también afecta la capa intermedia de enlace y podría formar juntas frías. Para evitar esto debe tenerse en cuenta la capacidad de la impresora y las características del material, así mismo, los aditivos permiten mejorar el comportamiento de la mezcla frente a estos aspectos.

Además, el tiempo de fraguado adecuado debe ser lo suficientemente largo para permitir la continuidad del flujo durante el bombeo y la extrusión del material, pero también lo suficientemente corto para desarrollar la resistencia rápidamente después de la extrusión. Esto generalmente se trata mediante la dosificación de aditivos acelerantes y retardantes en la mezcla (Ahmed, Askandar y Jumaa, 2022).

En diversos estudios sobre estos aspectos, se ha encontrado que el tiempo de fraguado más temprano puede mejorar el desempeño de la construcción del mortero y tener una mayor altura de apilamiento, pero se debe considerar el tiempo de impresión y la velocidad de operación. El tiempo de fraguado siempre va a varias de acuerdo con el tipo de mezcla utilizado, el tipo de proyecto, determinantes climáticas, etc.

En cuanto a la contracción, esta aparece especialmente durante el tiempo de fraguado, esta puede afectar la precisión dimensional y la calidad de la estructura impresa. En el estudio se presentan algunas alternativas para este problema, como, por ejemplo: adición de fibras de refuerzo y la optimización de la mezcla de concreto.

También, Ahmed, Askandar y Jumaa (2022), abordaron el tema densidad, porosidad y microestructura del 3D en el endurecido. La porosidad es un factor que afecta la resistencia y durabilidad de la estructura impresa. En el caso de la impresión 3D, el concreto puede tener

mayor porosidad en comparación al concreto fundido convencionalmente debido a la falta de vibración en el proceso de impresión. Según diversos estudios de estructuras impresas en 3D con relación a los poros, se encontró que estos tienen forma de elipsoide, y son aplanados en la misma dirección de la impresión. En cuanto a la densidad, esta debe ser menor en comparación con la densidad de un concreto convencional debido a la porosidad.

Otro aspecto que debe ser tomado en otros estudios en investigaciones tiene que ver con resistencia de la unión acero-hormigón, tema en el que no hay suficiente investigación sobre la resistencia de la unión de acero con elementos impresos en concreto. Aun así, gracias a algunos estudios donde se extraen las muestras de concreto impreso con barras de acero de refuerzo, se puede afirmar que estas tienen una resistencia similar a la de elementos fundidos convencionalmente.

2.1.5 Fabricación de muros

Cabe señalar que la elaboración del muro se hace de la siguiente manera:

Para comenzar la construcción, el sistema de robot se lleva al sitio y se coloca sobre la losa de hormigón. También hay una bomba para PU y otra para hormigón. El robot comienza imprimiendo la doble piel de PU alrededor de la casa a una altura aceptable para recibir el hormigón (entre 40 y 110 cm). La determinación de la altura depende de la resistencia del encofrado de espuma al empuje hidrostático del hormigón (Furet, Poullain y Garnier, 2019 p.60).

La impresión 3D se ha empleado en la fabricación de muros. Al respecto, Furet, Poullain y Garnier (2019) dejan entender que se ha usado la impresión 3D para la construcción basada en un muro complejo de espuma de polímero y hormigón mediante la fabricación aditiva que describen como una innovadora forma de construir edificios en hormigón mediante la impresión

3D de un encofrado de espuma de polímero, reconociendo la deformación que sufre la espuma al momento de verter el concreto.

Figura 13

Impresión 3D de espuma (F3DP)



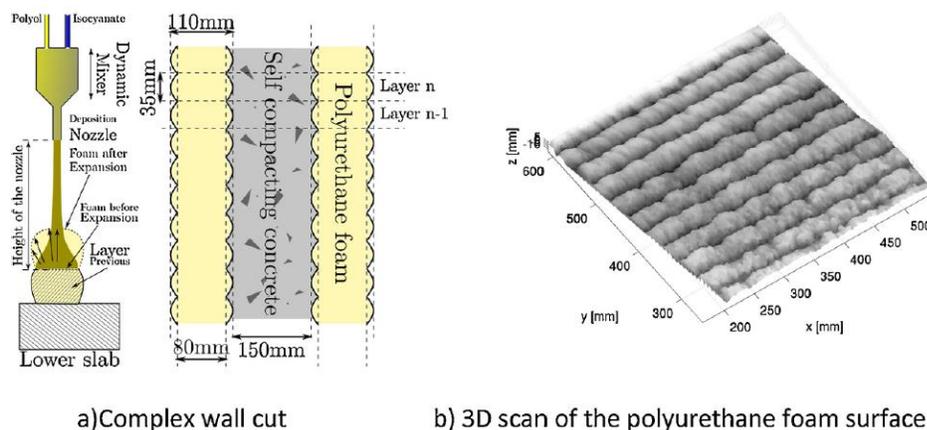
Nota: Tomado de <https://www.archdaily.co/co>

Igualmente es esencial hablar de la Impresión 3D para la construcción basada en un complejo muro de espuma de polímero y hormigón tema al que se le han dedicado varios artículos. Uno de ellos muestra una nueva forma avanzada de fabricación aditiva para la construcción de estructuras en concreto, la cual, consiste en un complejo muro de espuma de polímero con relleno de concreto.

En la Figura 14 sobre la disposición del muro, se compone de dos paredes impresas con espuma de polímero, las cuales cubren una tercera pared de concreto. Las dos paredes exteriores de espuma generan un aislamiento sin la necesidad de puentes térmicos, además tienen una resistencia de 7 MPa (Furet, Poullain y Garnier, 2019).

Figura 14

Detalle de muro



a)Complex wall cut

b) 3D scan of the polyurethane foam surface

Nota. Adaptado de “Impresión 3D para la construcción a partir de un muro complejo de espuma de polímero y hormigón” (p. 59), por B. Furet, 2019. Todos los derechos reservados [2019]

Elsevier B.V.

Este muro reduce el costo de la construcción en alrededor del 20% en comparación con los métodos tradicionales que involucran paredes aisladas de la misma forma. Así mismo, la impresora permite adaptarse a las necesidades de cualquier usuario para la forma de los muros.

Cabe mencionar la construcción de una vivienda social utilizando la tecnología Batiprint3DTM. Dicha construcción tiene forma de Y, tiene 95m² y cinco habitaciones y en ella se presentaron deformaciones del encofrado durante el vertido del hormigón, estas fueron de 4mm para una altura de 100cm, respetando el valor máximo de 5mm. Aun así, hubo una deformación máxima de 20mm debido a la expansión de la espuma.

Figura 15

Casa de 95m² impresa con muros de polímero y hormigón



Nota. Adaptado de “Impresión 3D para la construcción a partir de un muro complejo de espuma de polímero y hormigón” (p. 63), por B. Furet, 2019. Todos los derechos reservados [2019] Elsevier B.V.

Por último, se muestra en la Figura 17 el resultado final de la vivienda después de tener los acabados correspondientes.

Figura 16

Resultado final de la vivienda impresa con muros de polímero y hormigón



Nota: Adaptado de “Impresión 3D para la construcción a partir de un muro complejo de espuma de polímero y hormigón” (p. 63), por B. Furet, 2019. Todos los derechos reservados [2019] Elsevier B.V

2.1.6 Las sustancias aglutinantes y aspectos ambientales

El estudio desarrollado por Peng y Unluer en el 2022 aporta conocimiento sobre diferentes aglutinantes alternativos para impresión 3D a gran escala, todos con baja emisión de CO₂ en comparación con los morteros de impresión convencionales. Es necesario considerar que cada uno de los materiales tiene sus ventajas, que los aditivos químicos pueden mejorar sus comportamientos mecánicos y que hay tipo de mezclas más sostenibles, posibles de ser implementada en proyectos de construcción de una manera más eficiente. Peng y Unluer (2022) estudiaron el desarrollo de aglutinantes cementosos alternativos para aplicaciones de impresión 3D y revisaron los avances, ventajas y retos en el a gran escala.

Es importante mencionar que algunos de estos aglutinantes alternativos son: geopolímeros, aluminatos, cementos a base de MgO (Óxido de magnesio), además de materiales a base de yeso o arcilla calcinada con piedra caliza que poseen propiedades y un rendimiento adecuado para su uso en la construcción con impresión 3D.

Ahora bien, considerando que el cemento es una sustancia aglutinante es importante señalar que Peng y Unluer (2023) analizaron varios tipos de cementos a base de MgO, como el cemento reactivo a base de MgO y el cemento de fosfato de magnesio. Estos tienen propiedades adecuadas para la impresión en 3D, como alta resistencia a la compresión y fraguado rápidos, además de buena trabajabilidad. Sin embargo, también hay desafíos con estos cementos, como la necesidad de aditivos para mejorar la trabajabilidad y la necesidad de controlar la tasa de hidratación durante el fraguado para evitar el agrietamiento durante la impresión 3D.

En conclusión, los cementos a base de MgO se presentan adecuados para la impresión de estructuras a escala real en 3D, pero se necesita más investigación para optimizar sus formulaciones y evaluar su rendimiento a largo plazo.

Igualmente, aportaron sobre los compuestos RMC que se basan principalmente en la carbonización acelerada para obtener resistencia, por lo que para que RMC se use en la impresión 3D, las muestras impresas deben curarse en condiciones de carbonización. Estas mostraron una tasa de carbonatación más alta, consistente con la porosidad inicial más alta de las muestras impresas. En mezclas que contienen poros más grandes y mejor conectados, más CO₂ puede difundirse en la matriz a través de los poros, lo que aumenta la velocidad y el alcance de la reacción de carbonatación y mejora la resistencia a la compresión.

Dentro de los cementos de aluminato hay dos tipos de cementos, el sulfoaluminato de calcio (CSA) y el cemento de aluminato de calcio (CAC). El primero presenta buenas características para el uso en la construcción debido a que tiene emisiones mínimas de CO₂ y alta resistencia a la permeación por agua, la carbonatación y la contracción por secado. De forma similar, el CAC también tiene bajas emisiones de CO₂, además de alta resistencia a la corrosión, pero su uso se ha limitado a casos especiales debido a su fragilidad en las primeras etapas del curado y su alta temperatura de hidratación. En conclusión, los dos tipos de cementos de aluminato presentan características aptas para la impresión 3D, las debilidades de cada material se pueden mejorar de con aditivos químicos.

Además, sobre materiales a base de yeso es importante reconocer que son usados, especialmente, para sustituir rocas naturales. Estos presentaron buen comportamiento elástico, pero otra de sus grandes ventajas es su coeficiente de absorción de sonido, el cual es mayor en comparación con muestras de mezclas no porosas. Al igual que todos los materiales estudiados, estos a base de yeso también pueden ser mejorados con aditivos

Con relación a los materiales cementosos a base de arcilla calcinada con piedra caliza, Peng y Unluer consideran que su fabricación se define básicamente en la calcinación de una

mezcla de arcilla con piedra caliza. Al utilizarse materiales locales y residuos industriales para su elaboración, se presentan grandes ventajas como reducción de costos y bajo contenido de CO₂. Por otra parte, una serie de aditivos permitió mejorar la mezcla en aspectos como viscosidad, retención de la forma, capacidad de construcción y resistencia a la compresión.

Ahora bien, se puede inferir que el desarrollo de aglutinantes alternativos puede mejorarse mediante el reconocimiento de sus capacidades únicas en condiciones específicas. Debe establecerse un vínculo entre la investigación a escala de laboratorio y los programas a gran escala para que los aglutinantes alternativos se puedan implementar en el desarrollo de estructuras impresas en 3D. Si se desarrolla este vínculo, se pueden resolver cuestiones técnicas que limitan su uso en grandes proyectos de impresión (Peng y Unluer, 2023)

En cuanto a los aspectos ambientales, Ager, Golonka y Putanowicz analizan el funcionamiento técnico de la impresión 3D con el fin de apreciar las ventajas en ámbitos ambientales, pero, también, en otros como: reducción de costos, reducción de accidentes errores en obra, así como la reducción del tiempo de construcción. Estos investigadores revisaron temas como los aportes de la Impresión 3D de edificios a una construcción sostenible en el futuro, reconociendo que, desde la creación de la primera impresora en 3D, esta se ha convertido en una de las tecnologías de más rápido crecimiento y dando pie a preguntas de si la tecnología de la impresión 3d será suficiente para abarcar el sector de la construcción y reemplazar la metodología de construcción tradicionales.

2.1.7 Funcionalidad de la impresión 3D

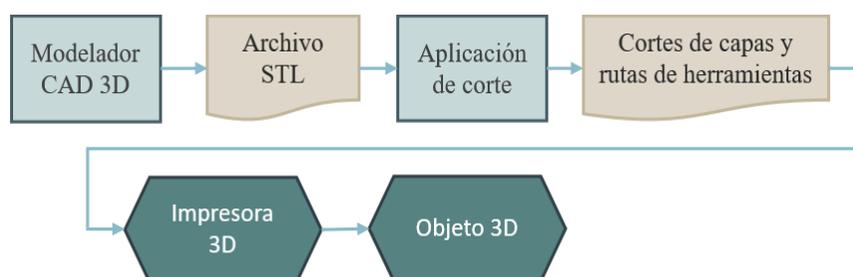
Según Hager, Golonka y Putanowicz (2016), la tecnología de la impresión 3D fue evolucionando acorde a las necesidades de cada época y su uso se extendió a varios campos brindando un mayor beneficio. Hoy en día los materiales más utilizados son denominados

filamentos y su manera de impresión es la FDM (Modelado por Deposición Fundida), donde actualmente se encuentra composiciones de filamentos elaborados con almidón de maíz o caña de azúcar, haciendo de esto un elemento biodegradable. Este tipo de impresión FDM es el mismo que se ha utilizado para la construcción de vivienda en el mundo, mediante una impresora de gran escala y diferentes tipos de mezclas y materiales en la que el concreto es el más utilizado.

Hager, Golonka y Putanowicz (2016) dejan entender que una gran ventaja con la evolución de la tecnología es la facilidad de realizar un modelado, mediante programas informáticos, los cuales fabrican directamente las piezas con un nivel de detalle amplio y concreto. El flujo de trabajo para la impresión 3d, se evidencia en la Figura 18, iniciando con un respectivo modelado, que luego pasa a un banco de datos para transformados en formas 2D (recorridos de capas) y posteriormente irlos elevando para formar un compuesto en 3D con la superposición de capas. Cabe señalar que otra manera de digitalización y por ende más eficiente es la del formato de datos STL

Figura 17

Flujo de trabajo en la impresión 3D



Nota: Adaptado de “¿Impresión 3D de Edificios y Componentes de Edificios Como Futuro de la Construcción Sostenible?” (p. 296), por I. Hager, 2016. CC BY-NC-ND.

En suma, la impresión 3D, aún es joven y se deben solucionar día a día pequeños detalles que se van presentando, sin embargo, no es motivo para desconocer su gran aporte a la industria

de la construcción para disminuir problemáticas relacionadas con lo económico, lo sostenibles y lo social.

Con base en el análisis del funcionamiento de la impresión 3D se encontraron distintas ventajas ambientales como el uso de materias primas con baja energía incorporada (desechos industriales y de construcción) y la consideración de que es posible minimizar los procesos de construcción húmedos, reduciendo el desperdicio de materiales y polvo, contrastando con los métodos tradicionales” (Hager, Golonka y Putanowicz, 2016, p.)

2.2 Construcción del Objeto de Estudio

El objeto de estudio en esta investigación es la Impresión 3D como alternativa tecnológica para la disminución de costos y tiempos en la producción de viviendas.

2.2.1 *La impresión 3D es una solución para fabricar casas.*

2.2.1.1 Sobre la reducción de costos. En lo relacionado a temas de costos fue importante revisar un artículo sobre la viabilidad económica de una casa impresa en 3D en el Reino Unido, donde existe la preocupación por el aumento del precio de la vivienda y las dificultades para acceder a una unidad habitacional. Según Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim y Orhan, (2018) otra de las cosas que preocupa es que “las empresas constructoras privadas no desean arriesgar su dinero invirtiendo en nuevas viviendas, cuando no hay compradores debido a la recesión económica” (p.1). Dejan inferir que la impresión 3D es una solución adecuada y más eficiente que los métodos tradicionales para reducir los costos significativamente.

Para el caso de estudio en Reino Unido se observaron varias ventajas relacionadas con el ahorro de material, debido a que no se requiere un relleno completo de un muro, sino que la máquina extruye la mezcla de concreto u hormigón en dos superficies paralelas separadas por un

relleno estructural, este se hace de forma triangular en la mayoría de los casos como se observa en la Figura 18.

Figura 18

Relleno estructural en impresión 3D



Nota. Adaptado de: *Sistema de Impresión 3D / Construcción por contornos* [Fotografía], por 3ders, 2014, ArchDaily (www.archdaily.co). Todos los derechos reservados [2023] ArchDaily Colombia.

Ellos encontraron que “la impresión 3D genera un ahorro de hasta alrededor del 35% del precio total de la vivienda (...). Este ahorro de costos proviene de la impresión 3D” (p.1)

Consideraron que la construcción de viviendas con la impresión 3D podría funcionar mejor que los métodos tradicionales, y reduciría significativamente los costos gracias a “los principios modernos de la automatización” (Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim, y Orhan, 2018, p.2). De la experiencia en el Reino Unido se destaca el hecho de haber usado la fabricación aditiva automatizada, la utilización de un sistema de pórtico tridimensional y la fabricación de capas de hormigón que se superponen hasta formar la pared.

Los resultados presentados por Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim, y Orhan (2018) permitieron concluir que: “la tecnología de impresión 3D es capaz de reemplazar la construcción tradicional de pared interna, eterna muro y cimiento” (p. 6), con una reducción del 30% en los

costos. Además, creen que, si hay un aumento de oferta de viviendas, es posible bajar los precios.

En el artículo titulado *Viabilidad de costos de una casa impresa en 3D en el Reino Unido* sus autores: Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim, y Orhan. (2018) muestran la crisis originada por la dificultad de adquirir una vivienda ante los altos costos y los bajos salarios de quienes las requieren, situación muy similar a la que se vive en Colombia y en regiones como Bucaramanga

Cabe señalar que el método es viable, siempre y cuando se pueda reducir el costo de la producción de las viviendas con la impresión 3D, tecnología que permite reemplazar la construcción tradicional de la pared interna, la externa y los cimientos (Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim, y Orhan, 2018). Sin embargo, al implementar esta tecnología en Bucaramanga, o en otra región de Colombia, hay que calcular el costo de la tecnología, situación que los investigadores no hicieron por no contar con los datos.

Según Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim y Orhan, (2018) una casa nueva puede ser mucho menos costosa, aunque quien las construye se quede con un buen beneficio. Como conclusión, de este estudio, es claro que con esta tecnología se puede pensar en futuros proyectos de vivienda para poblaciones como la de Bucaramanga, por la posibilidad de reducir los costos y los tiempos.

Otra estudio que da cuenta de la reducción de costos, pero, que, además, trae otros aportes importantes con la implementación de la impresión 3D en la construcción de viviendas, se evidencia en el trabajo *Impresión 3D de casas: una solución de vivienda sostenible para las necesidades de vivienda de Nigeria* adelantado por Afolabi, Ojelabi, Omuh, y Tunji-Olayeni en el 2018. Al respecto, un estudio hecho en Nigeria, uno de los países más poblado de África, con un déficit de más de 18 millones de viviendas y una población en constante crecimiento, se

encontró que la solución está en la implementación de la impresión 3D a la hora de buscar nuevas alternativas constructivas que mejoren la eficiencia de los proyectos de construcción.

Según los investigadores, Nigeria tiene grandes dificultades relacionadas con la alta tasa de pobreza, escasos ingresos familiares, tasas de interés muy altas, las tierras para construir son muy costosas, esto y más, unido a grandes niveles de corrupción impiden que los más necesitados puedan tener una vivienda. Este panorama es muy similar a lo que sucede en Colombia.

El estudio de Afolabi, Ojelabi, Omuh, y Tunji-Olayeni (2018) presentó la posibilidad de uso de la impresión tridimensional (3DP) “para atender las necesidades de vivienda de los nigerianos. (...) utilizó un análisis de contenido basado en estudios sobre 3D en países desarrollados y en vías de desarrollo. (p.1), identificando las áreas donde se puede dar una respuesta a la construcción de viviendas, hecho que incide en la minimización de ese déficit, en la reducción de costos, de errores y de residuos de la construcción. Cabe señalar que la sobre producción de residuos en la construcción genera problemas ambientales y la ocupación de espacios.

En este estudio se han encontrado ventajas relacionadas con: mayor flexibilidad en el diseño, reducción de las conexiones conjuntas y de los residuos de materiales de construcción, condensación de la cadena de suministros, costo mejorado asociado con la mano de obra y fácil entrada al mercado. Igualmente, la posibilidad de personalizar los productos de construcción, la obtención de pruebas mejoradas de productos, la creación de nuevos puestos de trabajo, el fomento del proceso de fabricación y la oferta de mayor innovación. En cuanto a las desventajas: los materiales son limitados y hay falta de control sobre las impresoras. el trabajo tradicional puede perderse, lo mismo que se afectan los derechos del consumidor y podrían presentarse

problemas éticos. Todo esto es una invitación a ahondar en el uso de las impresiones 3D antes de tomar la decisión de implementarla, en casos como Bucaramanga.

En suma, el uso de la impresión 3D, en el caso de Nigeria es una contribución para mejorar la sostenibilidad considerando que “una solución sostenible en el sector de la vivienda sería tal que englobara el costo efectivo, el tiempo y la calidad con otros elementos de respeto con el medio ambiente, la innovación y la satisfacción del cliente” (Afolabi, Ojelabi, Omuh, y Tunji-Olayeni, 2018, p. 3).

Figura 19

Construcciones en Nigeria



Nota: Adaptado de Artículo *3D House Printing: A sustainable housing solution for Nigeria's housing needs*

Ahora bien, el estudio de un caso en Perú, “reconoce una gran brecha en cuanto a infraestructura” (Chávez Camarena y Rengifo, 2022, p. 2). En consecuencia, surge la necesidad de encontrar una solución a través de la implementación de la nueva tecnología de impresión 3D, en aspectos, como: la construcción de viviendas sociales masivas y para reducir los costos y los tiempos y generar un impacto positivo. Este estudio pretendió encontrar la viabilidad de implementar esta tecnología en el Perú y promover que “esta técnica se industrialice y se adapte

a las viviendas sociales que actualmente tienen una alta demanda debido al déficit habitacional” (Chávez, Camarena y Rengifo, 2022, p. 7).

En cuanto al tiempo de construcción se evidenció una reducción del 30%, y en los costos se halló una reducción del 39%. Otro aspecto importante relacionado con los costos es la tasa interna de retorno (TIR), la cual es favorable para la impresión 3D en un 7%, factor que los inversionistas tienen en cuenta para evaluar el costo de oportunidad. De este modo, también influye la reducción del tiempo de construcción para evaluar en cuanto tiempo retornará la inversión (Camarena, (Rengifo y De La Torre, 2022).

De esta investigación se puede determinar que se parecen los muros de impresión 3D y los de albañilería armada, lo cual permite “poder emplear los ensayos de resistencia característicos del segundo, para poder comprobar la resistencia de los muros de impresión 3D” (Chávez Camarena y Rengifo, 2022, p. 117). Igualmente, fue importante reconocer la forma como se prepara el concreto imprimible y el tiempo y costo total del proyecto, lo mismo que la viabilidad para trabajar el prototipo de vivienda y la necesidad de seleccionar el modelo de impresora de pórtico.

2.2.1.2 Reducción de tiempo y de otros aspectos. Panda, Paul, Hui, Tay y Tan, (2017) aportaron a la construcción del objeto de investigación, con relación a la reducción del tiempo y de otros aspectos, como el residuo de materiales. Su trabajo se aprecia en dos artículos muy interesantes sobre la impresión 3D. El uno se titula *Rendimiento mecánico anisotrópico del material de construcción sostenible reforzado con fibra impreso en 3D* y el otro *Fabricación aditiva de geopolímeros para un entorno construido sostenible*. Panda, Paul, Hui, Tay y Tan, (2017) dan cuenta de la idea de imprimir concreto con la exploración de las propiedades del geopolímero impreso en 3D y de haber conseguido “un novedoso mortero de geopolímero

reforzado con fibra” (p.14) que contienen cuyas cenizas volantes, escoria, microsilice, arena fina del río, silicato de potasio líquido, hidroxipropilmetilcelulosa y agua del grifo, materias fundamentales para el éxito del producto y que no generan un gran impacto al ambiente. Además, permiten inferir el ahorro en el tiempo de construcción y en la mano de obra necesaria para la producción, aunque esto último, puede ser una desventaja al perder puestos de trabajo.

En el artículo *Fabricación aditiva de geopolímeros para un entorno construido sostenible*, Panda, Paul, Hui, Tay y Tan, (2017) describen el potencial de un geopolímero a base de ceniza volante, la cual es un residuo de la combustión del carbón de las centrales termoeléctricas. Ellos analizaron sus propiedades mecánicas, así como sus potencialidades y limitaciones dentro de la industria de la construcción y resaltan la reducción del impacto ambiental con el uso de sistemas de construcción, considerando que los desechos industriales que se generan en la construcción y algunos componentes pueden ser reutilizados y aplicados a esta nueva propuesta.

Para estos investigadores fue importante comprobar la elasticidad y viscosidad dada la importancia para el concreto y su calidad de impresión. También, fue valioso lo relacionado con la densidad de las muestras fundidas, las cuales a partir de 28 días muestran su respectivo resultado. Del mismo modo, las pruebas de compresión, tracción y presión se comprobaron a través de un motor característico, el cual define la viabilidad del producto y su aprobación.

Los resultados son un aporte relacionado con el alto índice de elasticidad y baja viscosidad. El producto cumple con la función sin perder su estabilidad al momento de extruirse. Además, se puede inferir que este tipo de geopolímeros puede abrir nuevas oportunidades de diseño y que el refuerzo de acero puede mejorar la resistencia, pero, no hay suficiente investigación al respecto (Panda, Paul, Hui, Tay y Tan, 2017).

En la construcción aditiva ecológica para la impresión de matrices de base de tierra se logró estabilizarlas con el uso de gel de fécula de patata y fibra de sisal, el material más utilizado es el cemento hidráulico, el cual, no es de fácil acceso en zonas remotas, además de ser gran generador de gases de efecto invernadero en su fabricación. Es por eso por lo que este artículo investiga sobre mezclas para impresión 3D basadas en el suelo y materiales orgánicos de fácil acceso en lugares remotos.

Específicamente, la investigación se basa en la utilización del almidón de papa como estabilizador natural de morteros de suelo crudo y estudia las propiedades de los compuestos a base de tierra, impresos en 3D en diferentes estados, con diferentes concentraciones de gel de almidón de papa y la presencia de fibras de sisal.

Además, con relación a la reducción de los tiempos y de los costos en la producción de viviendas hay aportes valiosos en el trabajo de la empresa China Winsun, constructora de impresión 3D, que anunció en marzo de 2014, que construyó 10 casas de hormigón en tan solo 24 horas, cada una de 200 m² con un coste de 2.970 libras esterlinas, este costo suma todos los elementos de la vivienda, ya que principalmente la estructura de paredes exteriores y la base son impresas en 3D. (Tobi, Omar, Yehia, Al-Ojaili, Hashim y Orhan, 2018).

Por otra parte, como se muestra en la Figura 21, esta misma empresa logró construir una villa de vivienda con un coste aproximado de 105.000 libras esterlinas, esta construcción tomó un mes con tan solo 8 trabajadores, mientras que con métodos tradicionales se hubiesen necesitado 30 personas para construir durante tres meses, esto significa que es posible reducir en un 91% las horas de trabajo y reducir a su vez la cantidad de trabajadores cualificados.

Figura 20

Proyecto de la constructora Winsun



Nota. Adaptado de *Sistema Estructural de Concreto Reforzado* [Fotografía], por Winsun 3D Builders, 2015 (www.winsun3dbuilders.com). Todos los derechos reservados [2017] Winsun 3D Builders.

También, sobre la reducción en otros aspectos que bien puede ser un hecho positivo en la solución del problema, Camarena, Rengifo y De La Torre (2022) dejan entender lo relevante que es asegurar la sostenibilidad y alcanzar la reducción de las emisiones de CO₂ hasta un 85.9%, así como la posibilidad de emplear materiales reciclados.

2.2.1.3 Reducción del déficit habitacional y mejora en la seguridad en la construcción. El estudio que se adelanta, además, del problema central, involucra otros aspectos para los que se requiere buscar una solución. Pensar en reducir el déficit de vivienda, pero también mejorar la seguridad en las construcciones.

La revisión de los documentos relacionados con las ventajas de la impresión 3D para la reducción del déficit habitacional, muestra experiencias que pueden ser contempladas a la hora de acudir a esta nueva tecnología para ser implementada en Bucaramanga. Un ejemplo se halla en la experiencia de Nigeria, caso importante para entender el problema y la solución de vivienda permanente para los desplazados internos. En Nigeria ha existido la necesidad de implementar ideas novedosas para reducir el déficit de vivienda que en 2012 se calculó en más de 17 o 20 millones. Esto permitió tener en cuenta los resultados de empresas de impresión 3D en la

construcción y sopesar las ventajas que trae a este, que bien puede aportar para fabricar viviendas temporales o refugios para desplazados internos y en la vivienda social (Afolabi, Ojelabi, Omuh y Tunji-Olayeni (2019).

En la solución del problema se prevé la seguridad en la construcción, que tiene mucha importancia, en cuanto a los riesgos para los trabajadores. En países en desarrollo como Nigeria, hay cifras preocupantes y muchas veces no documentadas de personas que han sufrido accidentes, en su mayoría atribuidos al error humano, por ende, la automatización de la impresión 3D trae, también, ventajas en la seguridad de los trabajos. Es importante la reducción de errores y costos laborales durante el proceso constructivo.

También, sobre el tema Camarena, Rengifo y De La Torre (2022) hacen aportes relacionados con el tema de la productividad y el riesgo. Encontraron, que, al ser un proceso automatizado, se disminuye la mano de obra, trabajos no contributivos, errores o accidentes, así como la eliminación del encofrado y otros procesos. En la Tabla 6 se muestra la comparación de riesgos de la impresión 3D con métodos tradicionales.

Tabla 6

Comparación de riesgos de la impresión 3D con métodos tradicionales

Método tradicional	Método impresión 3D en concreto
Medidas de seguridad y salud costosas durante la ejecución de la obra	Reducción de costos de hasta un 49% en las medidas de seguridad
Riesgo de operarios en la fase preliminar de obra	Fácil montaje de impresora, con menor esfuerzo y riesgo de operarios en la fase preliminar
Mayor análisis de riesgos y respuesta a estos, repercutiendo en gastos para su mitigación	La automatización elimina procesos, disminuyendo las situaciones de riesgo, costo y tiempo
Presencia de No Conformidades en los procesos constructivos y errores en proyectos de mayor complejidad	Sin importar la complejidad, se reduce la presencia de errores al trabajar con una impresora que funciona bajo modelado computacional

Nota: Adaptado de Camarena, Chávez E. K, Rengifo Cuellar, N. L y De La Torre S, J R., (2022).

Viabilidad de la Impresión 3D de concreto para la constructibilidad de viviendas sociales.

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

En síntesis, la impresión 3D es una tecnología rentable para la construcción de viviendas sociales masivas, ya que, tiene beneficios en aspectos como tiempo, sostenibilidad y reducción de riesgos (Camarena, Rengifo y De La Torre 2022)

2.2.2 Proyectos de empresa constructoras de vivienda con impresión 3D

En el análisis de la experiencia de empresas que han implementado la impresión 3D en la construcción de viviendas pueden hallarse interesantes y factibles aportes a la solución del problema que se plantea en este trabajo, referentes que deberán ser considerados y analizados.

Empresas constructoras como SQ4D, el Grupo PERI, e ICON, han construido, algunas, viviendas unifamiliares, y otras, multifamiliares, de distinto tamaño, en los años, 2020, 2021 y 2022 con ayuda de la tecnología de impresión 3D para las zapatas, muros y las losas de cimentación. Estas empresas ubicadas, en Estados Unidos, Alemania y México, se han caracterizado por diversos aspectos como la utilización de mezclas de concreto que tiene una resistencia a la compresión que supera el estándar de la industria, por una construcción de estructuras de muro en muy corto tiempo y procesos de excavación hechos de manera convencional.

Figura 21

Tipos de losa

TIPOS DE LOSA DE ENTREPISO O CUBIERTAS PLANAS			
Tipo	Imagen	Descripción	Otros elementos
Para este tipo de elementos solo se ha usado la impresión 3D para imprimir el perímetro de una losa de entrepiso o cubierta plana (encofrado)			
	Perímetro impreso de la losa de entrepiso o cubierta plana	Se necesitan otros elementos para elaborar la losa	Losas prefabricadas de base y luego la fundida de concreto

La producción de los muros requirió, en algunas, partes, la impresión total, sin embargo, los refuerzos de acero y los dinteles se colocaron manualmente. Algunos muros tuvieron un patrón de relleno estructural, que puede ser de aerosol para un aislante térmico, o de otro material, de acuerdo con el diseño.

En varios de los proyectos no se implementaron columnas, sino solo muros portantes con relleno estructural y refuerzos, y se eliminaron las actividades de encofrado y desencofrado debido a que el encofrado impreso trabaja en conjunto con el material fundido y se prefabricaron algunos voladizos que llevan algunas viviendas y que se imprimieron en el sitio.

Figura 22

Tipos de muros



En las viviendas multifamiliares hay un sótano y una placa base de impresión, elementos contruidos con métodos convencionales. Tienen dos tipos de muros, unos con dos capas exteriores y otros con tres, los cuales tienen barras de acero de refuerzo que conectan los extremos. En su construcción se usaron techos intermedios entre los pisos, estos son prefabricados en hormigón armado de filigrana y son soporte para fundir la placa. Además, para

el edificio multifamiliar, la cubierta fue prefabricada en madera junto con otros elementos también prefabricados en concreto.

Cabe decir que la mezcla de concreto utilizada permite ahorro de acabados en la fachada exterior, aunque en el interior se optó por cubrir el acabado de la impresión, pero dejando aberturas como ornamentos en las paredes.

En otros proyectos se combinó la estética de una vivienda moderna de campo de mediados de siglo con un diseño arquitectónico eficiente donde se destacan los beneficios relacionados con la resiliencia y la sostenibilidad, con las posibilidades digitales de la construcción aditiva.

La producción de la vivienda unifamiliares o multifamiliares logró la reducción significativa de tiempos, por ejemplo, se construyó un edificio, en conjunto con la empresa Mense Korte, utilizando tecnología de la empresa COBOD, en un tiempo total de 8 meses. Para algunas viviendas se imprimieron algunos elementos interiores que ahorran aún más tiempo en la construcción, como los muros bajos de la bañera o de la chimenea.

En suma, la impresión 3D permite imprimir muchas partes de la construcción, además de rebajar los costos y reducir los tiempos de fabricación. Además, los muros que son su mayor potencial, no solo porque necesitan muy pocos procesos de acabados, sino porque su forma muestra las posibilidades de la impresión 3D, tuvieron formas curvas y patrones muy atractivos a la vista.

Sin duda, en algunos proyectos, hay aportes en el alto diseño, los patrones y las formas que, combinadas con acabados en madera aportan una muy buena arquitectura al proyecto y tiene un atractivo visual. Igualmente, son interesantes algunos elementos decorativos, como macetas exteriores, impresas junto con los muros, y los porche de entrada con tejas.

Figura 23

Imágenes de viviendas con uso de la tecnología de impresión 3D

Vivienda Unifamiliar en Calverton, Nueva York



Nota. Adaptado de *La Casa Impresa en 3D más Grande Permitida* [Fotografía], por SQ4D, 2020, SQ4D (www.sq4d.com).

Vivienda Unifamiliar en Islandia, Nueva York



Nota. Adaptado de *La Casa Impresa en 3D Más Grande Hasta Agosto de 2022* [Fotografía], por SQ4D, 2022, SQ4D (www.sq4d.com). Licencia

Cubierta Prefabricada en Madera para Vivienda Impresa en 3D – SQ4D



Nota. Adaptado de *La Casa Impresa en 3D más Grande Permitida* [Fotografía], por SQ4D, 2020, SQ4D (www.sq4d.com). Licencia.

Vivienda Multifamiliar en Wallenhausen, Alemania



Nota: Adaptado de *La impresión 3D para la Construcción Aumenta la Asequibilidad y Reduce la Incorporación de Carbono en la Industria de la Construcción* [Fotografía], por PERI, 2021, IGBC (www.igbc.ie). Todos los derechos reservados [2021] por PERI GmbH.

Dentro de los aportes de alguno de los proyectos se mostró que el uso tecnología no es impedimento para mantener la arquitectura tradicional de algún lugar, como se muestra en la Figura 26, en este caso fueron los calados en los muros y el porche de entrada, así como diseño interior que se adaptó de muy buena manera con la tecnología.

Figura 24

Elementos arquitectónicos locales combinados con muros impresos



Nota. Adaptado de *Casas impresas en 3D en Nacajuca, México con New Story* [Fotografía], por Josh Pérez, 2019, ICON (www.iconbuild.com). Todos los derechos reservados [2022] ICON Technology, inc.

Sin embargo, los proyectos de la Empresa WSAP y el Proyecto Empresa Concreto muestran dos prototipos de vivienda, uno en Massa, Lombardía (Italia) y el otro en Medellín (Colombia) con diferentes características a las mostradas en los proyectos anteriores. Estos buscaron mostrar los alcances que tiene la impresión 3D, en otros aspectos como mezclas sostenibles o elementos prefabricados en vez de impresos en sitio.

Ahora bien, en el primero se usó para la impresión de los muros una mezcla a base de elementos naturales extraídos del mismo sitio; esta mezcla contenía tierra, arroz picado con paja y cal hidráulica. El encofrado de la cimentación se imprimió en concreto y antes de fundir se instalaron todos los refuerzos de acero y tuberías. Al igual que en casos anteriores se eliminan actividades de encofrado y desencofrado.

Para los muros se utilizó un patrón de impresión muy diferente a todos los proyectos analizados anteriormente. No solo la mezcla utilizada fue a base de elementos naturales tomados del sitio, sino que se empleó un patrón de relleno muy complejo, así como el patrón de la capa exterior, la cual le dio un acabado muy particular a la vivienda. En la cubierta hubo un diseño

orgánico que hace que los muros cubran parte de la cubierta al tener forma de domos, por esto se ahorra material al necesitarse una cubierta más pequeña.

El principal aporte de esta vivienda fue la implementación y creación de una mezcla a base de elementos naturales que cumpliera con las resistencias estructurales y a su vez tuvieron las características necesarias para ser imprimible. Esta vivienda tiene muy buenas características térmicas y acústicas gracias a la mezcla utilizada y contaron con la impresión de elementos interiores: mesones de cocina y bases de muebles.

Ahora bien, el Proyecto Empresa Concreto creó un prototipo de vivienda de una sola planta, el cual, a diferencia de todos los proyectos anteriores no fue impreso en sitio, sino en fábrica; se imprimieron 32 piezas que luego fueron ensambladas en el lugar. Esta vivienda recibe el nombre de *Casa Origami* y sus muros fueron impresos en su totalidad en la fábrica y ensamblados en sitio.

Los principales aportes de este proyecto fueron: la elaboración de la primera impresora 3D de gran formato en Latinoamérica y la creación de un concreto imprimible que cumplió con todos los requerimientos de la norma colombiana. De esta manera fue posible realizar uno de los primeros prototipos de vivienda impresa en 3D en el mundo. Además, entre 2019 y 2020, se imprimieron más de 350 elementos con esta tecnología, que hacen parte de pequeñas edificaciones como; la portería del parque industrial Logika Siberia, construido en Cundinamarca, primer inmueble de uso comercial en América Latina desarrollado con manufactura aditiva, esta edificación de 22 metros está compuesta por 21 piezas impresas en concreto.

2.2.3 Balance de los elementos donde la impresión 3D puede intervenir

La impresora 3D puede fabricar diferentes elementos de una vivienda relacionadas con la cimentación, los muros, las columnas, las losas de entrepiso y cubierta,

En la cimentación se imprime el encofrado de vigas, zapatas o losas de cimentación. La impresión del encofrado se ha implementado para la construcción de la placa base de las viviendas. Cabe anotar que la impresora se utiliza para fundir todo el concreto dentro de la excavación o dentro del encofrado impreso según sea el caso. Para esto es necesario aumentar considerablemente el flujo de impresión, también en algunos casos la boquilla se adecua con un elemento que permite esparcir el concreto dejándolo a nivel.

Figura 25

Tipos de cimentación

TIPO DE CIMENTACIÓN CON IMPRESIÓN 3D					
Tipo	Uso	Imágenes		Ventajas	Desventajas
Impresión del encofrado	Poco frecuente: El encofrado impreso trabaja en conjunto con el concreto vertido			<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de tiempo y desperdicios porque el encofrado hace parte de la estructura 	<ul style="list-style-type: none"> Es una metodología poco usada aún
Pilotes	Experimentación: Facultad de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pomerania Occidental, de Polonia	Se perfora la tierra y se vacía el concreto mediante una impresora 3D	Los resultados de la experimentación permitieron evaluar como buena la viabilidad técnica para este tipo de cimentación para edificaciones 3D	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro de 70%-75% de hormigón en comparación a una cimentación estándar Reducción de costos en material Reducción de tiempo de construcción de los cimientos 	<ul style="list-style-type: none"> La longitud de los pilotes está limitada por la altura de la impresora La impresora debe ser capaz de soportar las mayores cargas resultantes Se necesitan nuevos elementos
					
		Los autores recomiendan pilotes de 3m con diámetro entre 5-10cm La disposición de los pilotes depende de cada proyecto			

Los muros que tienen características similares son el elemento con más potencial en la construcción con impresión y tienen una capa interior y una exterior. Sus diferencias están en el

patrón de relleno, los refuerzos de acero, el acabado de la capa exterior o incluso en el material utilizado. Hay varios tipos de muros con usos específicos.

Para las columnas hay dos formas de elaborarlas. En una se imprime todo el cuerpo de la columna en fábrica junto con la viga en un mismo elemento. En la otra se imprime el contorno de la columna a manera de encofrado, junto con los refuerzos de acero verticales para luego fundir la columna con concreto.

Figura 26

Tipos de columnas

TIPOS DE COLUMNAS 3D			
Tipo	Encofrado impreso Patrón normal	Encofrado impreso Patrón irregular	Elementos mixtos
Imagen			
Descripción	Perímetro de columna impreso con los muros, refuerzos de acero puestos en obra y relleno de concreto	Perímetro de columna impreso en fábrica y ensamblado en sitio junto con los refuerzos de acero para luego ser relleno de concreto	Columnas y vigas impresas en fábrica para trabajar monolíticamente

Para las losas de entrepiso y cubiertas se puede utilizar la impresión 3D de la misma forma que la impresión del encofrado exterior de la losa y el caso de la cubierta solo se puede cuando es plana. Además, se requiere de otros elementos para fundir la losa como lo son los techos intermedios y los parales de soporte de estos.

En suma, la impresión 3D es una tecnología muy útil en la producción de viviendas, que requieren la reducción de costos y tiempos.

3. Marco Normativo

El surgimiento de las impresiones 3D aplicadas en la construcción de unidades habitacionales ha obligado a que se dicten normas que contribuyan a asegurar que estas estructuras sean seguras.

Algunas normas internacionales, que podrían referenciarse para Colombia, tomadas de <https://www.nfpajla.org/archivos/edicion-impresa/manejo-de-emergencias-egreso/1566-imprimiendo-edificios> y de <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=275>, son:

Tabla 7

Normativa internacional

Norma	Implicaciones
Norma <u>UL 3401</u> , <i>Descripción de la Investigación para la Construcción de Edificios Impresos en 3D</i> ,	Se usa para para “evaluar la impresora, el proceso de fabricación, y los materiales utilizados para verificar que producen de forma continua elementos de construcción con las mismas propiedades. Los constructores pueden utilizar el documento para crear un informe de hallazgos demostrándoles a las autoridades competentes que sus conjuntos de montaje de edificios cumplen con códigos y normas relevantes”
UL 263, <i>Norma para Pruebas de Incendio de Construcción de Edificios y Materiales</i> ,	Para pruebas de incendio. Para evaluar las barreras térmicas.
<u>NFPA 275</u> , <i>Método Normalizado de Pruebas de Incendio para la Evaluación de Barreras Térmicas</i> .	Para inspeccionar y aprobar edificios impresos en 3D en virtud de las disposiciones del código sobre métodos y materiales alternativos y a su vez acelerará el proceso de aprobación” Esta norma presenta un método para calificar el comportamiento frente al fuego de una barrera térmica para evaluar su capacidad para evitar la ignición de una exposición al fuego estándar o retrasar su aparición.
Norma UL 3401 en la edición 2021 <i>Código Residencial Internacional</i> ,	Tomado de: https://www.nfpajla.org/archivos/edicion-impresa/manejo-de-emergencias-egreso/1566-imprimiendo-edificios
<i>UL 723</i> , Norma para la Prueba de Características de Combustión de Superficies de Materiales de Construcción	Este procedimiento de prueba para los atributos de combustión de la superficie debe ser capaz de sostenerse por sí mismo o ser soportado en el horno de prueba hasta un espesor comparable al de su uso previsto, ya sea por su calidad estructural o por su aplicación.
NEPA 286. Métodos Normalizados de Pruebas de Incendios	Para la valoración de la Contribución de Acabados Interiores de Cielorrasos y Paredes en el Crecimiento del Incendio de la Habitación.

	Norma que detalla el procedimiento para determinar el aporte de los materiales de acabado interior al crecimiento del fuego en la habitación durante condiciones explícitas de exposición al fuego. Valora las características de inflamabilidad del acabado interior de paredes y techos, diferentes de los revestimientos de paredes textiles, donde dichos materiales son parte de las superficies interiores expuestas de los edificios. Esta se conoce como la prueba de la "esquina de la habitación".
NFPA 5000. Código de seguridad y construcción de edificios	Este código ofrece requisitos para las características de construcción, protección y ocupación exigidas para salvaguardar la vida, la salud, la propiedad y el bienestar público, reduciendo las lesiones.

Cabe señalar, sobre la impresión 3D, que hay carencia de reglamentos y “no hay estándares definidos y regulación para 3DCP, que son vitales para ingenieros estructurales, certificadores, diseñadores y arquitectos” (Baduge, Abu-Zidan, McCormack, Nguyen, Mendis, y Aye, 2021, p. 1598)

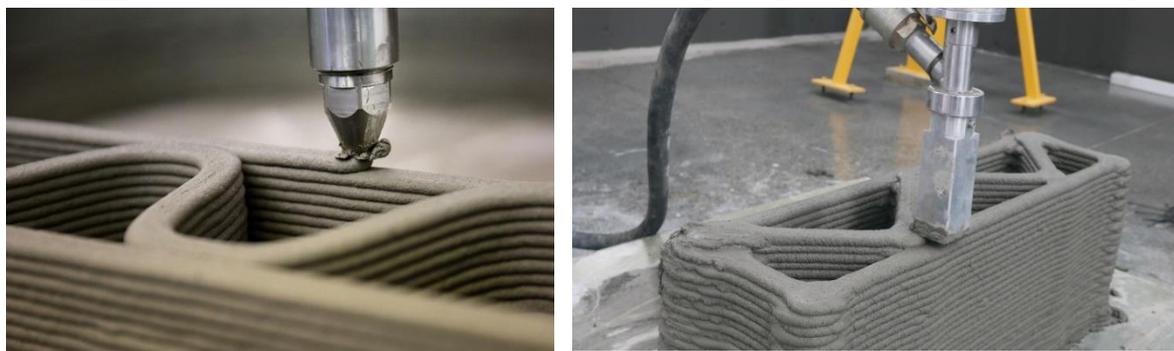
En Colombia, para el caso de la construcción de vivienda con impresión 3D, la principal norma para tener en cuenta es El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), el cual regula todas las características que deben tener las edificaciones para que las respuestas frente a sismos sean favorables, así como con sus propias cargas.

Específicamente, los títulos que mejor describen las características que debe tener una vivienda impresa en 3D son los Títulos C y A, que se refieren a Concreto Estructural y Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente. A continuación, se describirá de manera general toda la información que aporta cada uno con el fin de mostrar algunos requerimientos que debe tener una vivienda impresa en 3D.

3.1 Título C – Concreto Estructural

Figura 27

Concreto estructural



Nota: Adaptado de <https://www.elcolombiano.com/negocios/primera-impresora-3d-de-concreto-en-colombia->

3.1.1 Alcance

Se establecen los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos en concreto estructural. Teniendo como principal requisito la resistencia específica a la compresión del concreto, la cual, se representa con f_c' y no debe ser inferior a 17 MPa, que equivaldrían a aproximadamente 2.500 Psi

Además, este capítulo se complementa con el documento “Requisitos esenciales para edificios de hormigón reforzado, diseñado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – Icontec, y el American Concrete Institute – ACI” En este se especifican aspectos en temas como: información general del concreto reforzado, cargas, muros, columnas, requisitos de diseño sismo resistente, cimentaciones, entre otros.

Siguiendo con lo descrito en el Título C de la NSR-10, también se detalla la capacidad de disipación de energía en tres tipos: La capacidad de disipación de energía mínima (DMI), la capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y la capacidad de disipación de energía espacial (DES).

Figura 28

Fabricación de hormigón en 3D



Nota: Adaptado de <https://www.archdaily.co/co/979476/impresion-3d-con-hormigon-bajo-en-carbono-reduccion-de-las-emisiones-de-co2-y-el-desperdicio-de-material>

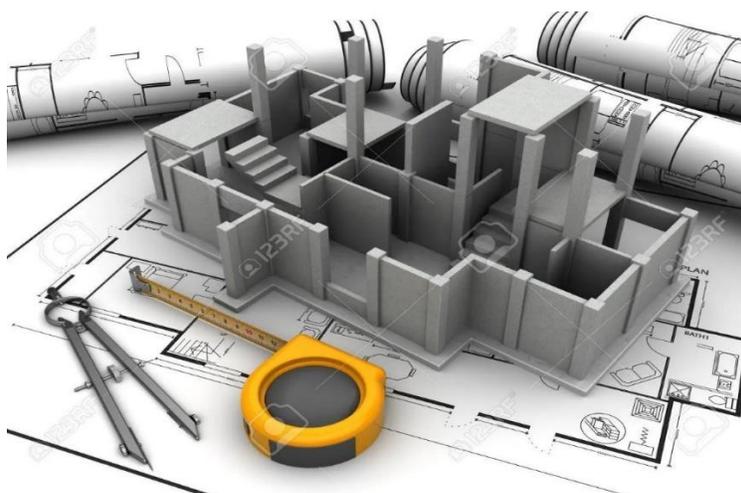
En el Título C de la NSR-10, también se describe la capacidad de disipación de energía en tres tipos: La capacidad de disipación de energía mínima (DMI), la capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y la capacidad de disipación de energía espacial (DES).

3.1.2 Especificaciones en los planos

Estos planos de diseño con los respectivos detalles y especificaciones, según la determinaciones del NSR-10 del cual el Título C forma parte, determina que deben tener la rúbrica o marca de un profesional experto en diseño. Así mismo, en el contenido de estos deben aparecer aspectos como: Carga viva y otras cargas utilizadas en el diseño, resistencia específica a la compresión del concreto, tipo de acero de refuerzo, precauciones por cambios dimensionales producidos por flujo plástico, retracción y variación de temperatura, magnitud y localización de las fuerzas de preesforzado, entre otros.

Figura 29

Planos



Nota: Adaptado de https://es.123rf.com/photo_57865457_3d-ilustraci%C3%B3n-de-la-construcci%C3%B3n-de-edificios-de-hormig%C3%B3n-sobre-los-planos-de-fondo.html

3.1.3 Supervisión Técnica

Las construcciones de concreto necesitan ser inspeccionadas de acuerdo con el Título I de la NSR-10. Estas deben ser inspeccionadas durante todo el proceso de la obra por, o bajo la supervisión de un profesional experto en el diseño o por un supervisor técnico calificado, exceptuando los casos previstos por la Ley 400 de 1997, caso en el cual el control de calidad de los materiales empleados en la construcción será responsabilidad del constructor.

Por otra parte, para lugares donde la temperatura ambiente sea menor que 4°C o mayor que 35 °C, debe llevarse un registro de las temperaturas del concreto y de la protección puesta en el momento de su colocación y curado

3.1.4 Aceptación de sistemas especiales de diseño o de construcción

En este punto se aclara que esta normativa puede emplearse para sistemas alternos de construcción y diseño, como en este caso, la impresión 3D. Se debe garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el Capítulo 2 del Título II de la Ley 400 de 1997.)

3.1.5 Normas Técnicas Citadas en el Título C de obligatorio cumplimiento

Al mismo tiempo, se aclara que las Normas Técnicas Colombianas NTC, citadas en este Título hacen parte de él. Estas son promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Asimismo, se permite el uso de normas de la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales (ASTM) para los casos donde no exista una norma NTC.

3.1.6 Sistema de Unidades

Este Título de la NSR-10 está presentado en el sistema internacional de medidas (SI). En el apéndice del documento se “presenta la equivalencia entre el sistema SI, el sistema mis, y el sistema inglés de las ecuaciones no homogéneas del Título C del Reglamento”.

3.2 Título A – Condiciones Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente

3.2.1 Generalidades

En este apartado se especifican las modificaciones más importantes de la NSR-10 con respecto a algunas normas anteriores y normativas internacionales como el International Boulding Doce (IBC-2009).

3.2.2 Zonas de Amenaza Sísmica

Se definen los movimientos sísmicos de diseño en dos tipos: **a** y **V_a**, con el fin de tener una “mejor descripción de los efectos de atenuación de las ondas sísmicas en el territorio nacional”

El parámetro **a** detalla los movimientos sísmicos del terreno ocasionados por sismo relativamente cercanos en el rango de períodos de vibración de las edificaciones comprendido entre 0.1 y 0.5 s lo cual corresponde en general a edificaciones entre uno y cinco pisos de altura. El parámetro **V_a** caracteriza los movimientos sísmicos de sismos fuertes ocurridos a distancia

moderadas a través de períodos de vibración de aproximadamente 1s, correspondientes a edificaciones de 10 pisos o más.

3.2.3 Contenido

Asimismo, se mantienen los mapas de zonas de amenazas sísmica establecidos en la normativa anterior a esta, la NSR-98. Se establecen exigencias fundamentales con relación al diseño sismo resistente, procedimiento de la fuerza horizontal equivalente, proceso de análisis dinámico, interacción suelo-estructura, condiciones de elementos no estructurales, así como prescripciones sísmicas para tener en cuenta en algunas estructuras que están fuera del reglamento, como puede ser el caso de la impresión 3D.

No obstante, las investigaciones realizadas tanto a nivel nacional como internacional han mostrado que el concreto impreso en 3D funciona monolíticamente de manera muy similar a un muro fundido convencionalmente, por lo que, la normativa puede aplicar de buena manera para una vivienda hecha con modelado deposición fundida (FDM - Impresión 3d).

Ahora bien, es importante considerar la comparación entre los sistemas usados en Colombia y la impresión 3D, consignadas en el siguiente cuadro:

Sistemas usados en Colombia	Sistema de Impresión 3D
<p>Sistema a porticado: compuesto por pórticos de concreto armado, que resisten las cargas verticales y horizontales.</p> <p>En el apartado C de la Norma Sismorresistente NSR-10, en Colombia, establece las condiciones para el diseño y construcción de estructuras de concreto- Las especificaciones para el concreto estructural utilizado en la construcción y las directrices para el diseño y cálculo de estructuras de concreto armado, incluyendo sistemas a porticados de concreto. Adicionalmente, el Título C establece especificaciones precisas para el diseño sismorresistente de estructuras de concreto, incluyendo normas, pruebas y evaluaciones de los materiales utilizados, entre otros temas relacionados con seguridad estructural de los edificios.</p>	<p>Teniendo en cuenta la impresión 3D es una aplicación de nuevas tecnologías a nivel global y no hay una normativa específica a la cual adaptarnos, se debe acoplar a las normas existentes, en este caso la impresión 3D en Colombia con la norma NSR-10 tomara como aplicación el título C, ya que nos habla de las directrices en los diseños y cálculos estructurales en concretos los cuales se enfocan en la impresión de muros del sistema.</p>

<p>Mampostería estructural</p> <p>Los criterios mínimos de diseño y construcción para las edificaciones de mampostería estructural están establecidos en el Título D de la Norma Sismorresistente NSR-10 de Colombia, así como los requisitos para los morteros de relleno que se deben utilizar</p> <p>Esta normativa establece la clasificación y dosificación de los morteros de aportación según volumen son las establecidas por esta norma, así como las especificaciones y parámetros de resistencia a la compresión de estos morteros. Adicionalmente, se establecen requisitos específicos para la construcción de muros de mampostería, tales como la necesidad de crear una fuerte conexión entre los muros y la cimentación y el uso de refuerzos estructurales al construir mampostería confinada.</p> <p>En conclusión, el propósito del Título D de la NSR-10 es garantizar la integridad y calidad de la construcción de mampostería en los edificios.</p> <p>Título A de la NSR-10 es crucial para garantizar la seguridad y la calidad de las edificaciones en Colombia, desde un punto de vista sísmico, este título debe ser aplicado en todas las diferentes estructuras que se proyecten, ya que nos determina e informa de las especificaciones generales para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes están establecidas en la Norma Sismorresistente de Colombia NSR-10. Para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones ante un evento sísmico, este título se refiere a los lineamientos y requisitos fundamentales que deben cumplir la clasificación del suelo, los parámetros de diseño sísmico, las especificaciones técnicas de los materiales de construcción, los sistemas de construcción estructurales y no estructurales y otros elementos cruciales para la seguridad estructural son algunos de los temas que se tratan en el Título A. En su conjunto.</p> <p>Una de las pautas que se debe considerar para cualquier estructura o edificación en la norma son los requisitos de emergencia, que se especifican en las edificaciones bajo su jurisdicción, son una de las reglas que se deben tener en cuenta para cualquier estructura o edificio que se construya de acuerdo con la norma. K dice 3.8. La Sección 6.2 del código requiere que el ancho mínimo de las salidas sea de 0 punto 80 metros para la circulación en una dirección y de 1 punto 20 metros para la circulación en dos direcciones. El código también establece el número mínimo de salidas necesarias en función de la ocupación del edificio, que se establece por su capacidad y uso.</p>	<p>En la impresión 3D no aplicaría el título D, de la normativa NSR-10, ya que este nos habla y da directrices de muros estructurales en mampostería y la impresión 3D remplazaría completamente estos muros en ladrillo, para ser elaborados en concreto.</p> <p>El título A de la NSR-10 no aborda específicamente la impresión 3D, pero si se deben seguir todas las leyes y pautas pertinentes para garantizar la seguridad de las estructuras construidas de acuerdo con esta técnica ya que no importa el tipo de construcción empleada, los requisitos para el diseño y construcción general sismorresistente de edificaciones se establecen por este título y se deben seguir.</p> <p>Los mismos estándares y requisitos que se aplican a las salidas de emergencia en la construcción convencional también deben aplicarse a la impresión 3D en la construcción. El ancho mínimo de los corredores de evacuación y el número de salidas de emergencia requeridas para garantizar la seguridad de los ocupantes en caso de una emergencia, están especificados por la norma colombiana NSR-10.</p>
---	--

Como puede verse hay posibilidades de adaptar las impresiones 3D o fabricación aditiva a los aspectos de la construcción tradicional, teniendo en cuenta la normatividad.

4 Marco Contextual

El contexto de este estudio tiene dos escenarios en Colombia. Uno en el que la impresión 3D en la construcción ya tiene un inicio, forma parte de las experiencias de construcción y se pueden mostrar dos ejemplos. El otro, corresponde a la necesidad de hallar soluciones de vivienda digna, a bajos costos y con reducción de tiempo en la construcción, es decir para viviendas de interés social.

La revisión de la aplicación en Colombia de las impresiones 3D las ubica en Medellín donde se construyó la primera casa con esta tecnología, conocida como *La casa Origami* que cuenta con una habitación, baño, sala, comedor, en un espacio de 23,4 M2. Fabricada con 32 módulos que se imprimieron en 27 horas.

Figura 30

Casa Origami



Nota: Adoptado de ConConcreto / A.P.I.

Otro ejemplo es la casa terracota que se creó en 24 horas con el puente de metal impreso en 3D; es un proyecto colombiano que usa técnicas y materiales tradicionales con tecnologías 3D.

En esta vivienda se usaron materiales que el ser humano ha utilizado hace mucho tiempo, y que han sido subvalorados a pesar de su resistencia y perdurabilidad a través del tiempo. Su constructor, el arquitecto Octavio Mendoza, empleó la fabricación aditiva en forma de capas.

Figura 31

Casa Terracota



Nota: Adaptado de <https://www.3dnatives.com/es/casa-terracota-casa-3d-220220192/#!>

El otro escenario, tiene que ver con las comunidades que requieren la construcción de viviendas de bajo costo y que sean fabricadas en menos tiempo, situación que se propone en este estudio aprovechando la impresión 3D.

4.1 Contexto Político – Económico

Con relación al acceso a vivienda, en el país se han creado diferentes mecanismos e instituciones para la construcción de vivienda nueva. En su orden están: el Banco de la República y la Superintendencia. El Banco Agrícola e Hipotecario de Bogotá y el Hipotecario de Colombia, el Banco Central Hipotecario, la Caja de Crédito Agrario, la Corporación Colombiana de Crédito, el Instituto de Crédito Territorial, el Banco Central Hipotecario; pero siempre los bancos dominaron el mercado de préstamos, sin llegar a muchos grupos poblacionales.

También han existido políticas como la Unidad de Poder Adquisitivo Constante (UPAC) y la UVR (Unidad de Valor Real), el instituciones como INURBE y las Cajas de Compensación

que han estado en el panorama de la construcción de vivienda. Se han creado subsidios y política tributaria facilitadora del acceso al crédito de vivienda, pero esto no ha sido suficiente ni llega a todas las personas. Actualmente existen diversos programas de subsidios para vivienda nueva, entre los que destacan Mi Casa Ya y French; para vivienda usada existe el Semillero de Propietarios; y para mejora vivienda hay programas como Casa Digna, Vida Digna.

4.2 Contexto Socio – Cultural

Frente a este aspecto, en Colombia, es importante señalar que está la presencia de un población que a nivel nacional hacen parte del déficit habitacional cuantitativo. Son personas, familias y comunidades que habitan en vivienda de bahareque, en construcciones palafíticas.

Las viviendas de bahareque fueron uno de los primeros sistemas constructivos (sismo resistentes) empleados para la construcción de vivienda a finales del siglo XIX. Se destacan por la rapidez en la construcción, el bajo costo y la sostenibilidad; esto gracias a que se utilizan materiales del entorno. Por otra parte, el bahareque hace parte de las técnicas locales de Colombia, gran parte de la arquitectura colonial está elaborada con esta técnica constructiva.

Figura 32

Vivienda de Bahareque



Nota. Adaptado de *Bhareque, una Técnica Constructiva Sismorresistente en Colombia*

[Fotografía], por Fredy Rivera, 2018, ArchDaily (www.archdaily.co). CC BY 2.0

La tabla 8 hace referencia a la posibilidad de usar la impresión 3D en este tipo de vivienda.

Tabla 8

Vivienda en bahareque e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	No presente	Presente [Llanera]	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Piedra, ladrillo o concreto reforzado	Maderas o cañas entrelazadas y barro	Guadua o madera aserrada	Guadua o madera	Guadua cortada, Teja (Cocida, Eternit, zinc)	- Muros con mezclas a base de barro - Encofrado de cimentación impreso
Susceptibilidad impresión 3D	El uso de la impresión 3D puede conservar la materialidad y el concepto sostenible del bahareque, pero no las características constructivas.				Posible

La vivienda palafítica hace parte de la arquitectura tradicional, construida sobre pilotes encima de una masa de agua o en el suelo. Este tipo de vivienda se usa en zonas donde hay inundaciones. Cabe señalar que las condiciones de habitabilidad en este tipo de viviendas son malas.

Figura 33

Vivienda palafítica



Nota. Adaptado de *Vivienda en palafitos común en ríos y zonas costeras del Pacífico*

[Fotografía], por Alberto Saldarriaga, 2019, Banrepcultural (www.banrepcultural.org). Todos los derechos reservados [2022] Banco de la República, Colombia.

Este tipo de vivienda existe en muchas partes del país. La siguiente tabla muestra la presencia de esta tipología en cada región y de los materiales que se utilizan para construirlas. Igualmente, una valoración sobre su posibilidad de uso.

Tabla 9

Vivienda palafítica e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente [Amazónica]	No presente	Presente	Presente [Isleña]	Presente [Vernácula]	Presente [Autóctona]
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Troncos hincados sobre tierra o cuerpos de agua	Tabla, esterilla de palma y guadua [bloque de concreto en la unidad sanitaria]	Parales de madera	Madera	Guadua, paja, maderas, hojas de palma, tejas de zinc y eternit o cartón asfaltado	- Se ha investigado sobre parales de cimentación impresos en 3D, pero no se ha implementado
Susceptibilidad impresión 3D	Para esta tipología no es posible implementar la impresión 3D				No es posible

Pero, también existen en todas las zonas rurales del país una viviendas que en su mayoría tienen características similares en cuanto a materiales o diseño. En ellas hay malas condiciones de habitabilidad debido a la precariedad de los materiales o por estar ubicadas en zonas muy apartadas. Entre los materiales más utilizados está la madera, adobe, tapia pisada, aunque también hay algunas viviendas construidas con ladrillo y concreto.

Figura 34

Vivienda rural dispersa en Abobe, en Pore



Nota. Adaptado de *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare* [Fotografía], por Rivera et al, 2018, Revista de Arquitectura, Universidad Católica de Colombia (www.revistadearquitectura.ucatolica.edu.co). CC BY-NC-ND.

En la Tabla 10 se muestran las regiones en las que esta tipología está presente y los materiales que se utilizan para construirlas, al igual de una valoración acerca de si la impresión 3D puede ser usada o no.

Tabla 10

Vivienda rural dispersa e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	No presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Pilotes de madera hincados, concreto	Madera, tapia pisada, adobe (Ladrillo o concreto en algunas viviendas)	Pilotes de madera	Madera	Caña brava, láminas de zinc	- Impresión del encofrado de cimentación en sitio o en fábrica - Muros impresos en concreto u otro material
Susceptibilidad impresión 3D	Para este tipo de vivienda es posible utilizar la impresión 3D para fabricar la estructura principal				Posible

Las condiciones de muchas de estas viviendas son precarias.

Figura 35

Vivienda rural en centros poblados



Nota. Adaptado de *Santa Leticia, Vivienda* [Fotografía], por Juan Tama, 2010, Corporación Nasa Kiwe (www.nasakiwe.gov.co). Todos los derechos reservados [2023] Corporación Nasa Kiwe Nacional.

La tabla 11 ilustra sobre los lugares de presencia y los materiales usados. De la misma manera, el concepto de la posibilidad de aplicar la impresión 3D

Tabla 11

Vivienda Rural en Centros Poblados

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	No presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Pilotes de madera hincados, concreto	Madera, ladrillo, concreto, tapia pisada	Madera, ladrillo, concreto	Madera, concreto	Láminas de zinc	- Muros impresos en concreto sin uso de columnas - Impresión de encofrado de cimentación
Susceptibilidad impresión 3D	Para este tipo de vivienda es posible utilizar la impresión 3D para fabricar la estructura principal. Esto aplica para las partes donde se utilizada concreto				Posible

La vivienda urbana mixta utiliza diferentes materiales en cada piso. Para el primero es normal una estructura en mampostería y concreto y para el segundo, una estructura en madera. Muchas de estas viviendas tienen déficit debido a la precariedad de sus materiales o diseños.

Figura 36

Vivienda urbana mixta



Nota. Adaptado de *Cuatro factores políticos que inciden en el déficit de vivienda en Colombia*

[Fotografía], por LaHaus, 2022 (www.lahaus.com). Todos los derechos reservados [2022]

LaHaus.

La tabla 12 evidencia las regiones donde hay esta vivienda y los materiales usados en su construcción.

Tabla 12

Vivienda urbana mixta e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Concreto ciclópeo (basamento 40-50cm)	Bloques de cemento o ladrillo (1° piso), madera aserrada (2° piso)	Madera labrada o aserrada	Madera labrada o aserrada	Tejas industriales, asbesto cemento	- Muros impresos en concreto - Impresión de encofrado de cimentación
Susceptibilidad impresión 3D	Es posible imprimir el encofrado de la cimentación y los muros del primer piso en concreto a manera de vivienda de interés progresivo				Posible

Se presentan otras viviendas urbanas, producto de la autoconstrucción, que evidencian precariedad, tanto en los materiales, como en el diseño. Además, algunas están construidas en zonas de riesgo o en predios ilegales.

Figura 37

Vivienda urbana



Nota. Adaptado de *La pobreza en Bogotá ha crecido 35% en dos meses de cuarentena*

[Fotografía], por Dinero, 2020, Semana (www.semana.com). Todos los derechos reservados

[2023] Publicaciones Semana S.A.

En la Tabla 13 se muestra la presencia de esta tipología y los materiales que se utilizan con el fin de evaluar si la impresión 3D puede ser factible.

Tabla 13

Vivienda urbana e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Concreto reforzado	Ladrillo, concreto, madera, tapia pisada	Ladrillo, concreto, madera, concreto reforzado	Concreto, madera	Concreto, láminas de zinc, tejas metálicas o de fibrocemento	- Muros impresos en concreto - Impresión de encofrado de cimentación - Impresión de perímetro de placas
Susceptibilidad impresión 3D	Esta tipología presenta buenas condiciones para ser construida con impresión 3D. Elementos como la cubierta se pueden fabricar con la tecnología, pero no son recomendables para muchas zonas de Colombia por la alta precipitación que hay en gran parte del territorio				Posible

Por último, se analizaron las tipologías de vivienda de interés social (VIS), vivienda de interés prioritario (VIP) y vivienda comercial. Esto con el fin de analizar la susceptibilidad para ser construidas con impresión 3D. Cada tipo de vivienda varía según la zona del país donde sea construida. En consecuencia, en las tablas se establecen todos los posibles materiales que se pueden utilizar; por lo cual, es necesario aclarar que la impresión 3D no podría utilizarse, por

ejemplo, en viviendas de interés social como las construidas en San Andrés, ya que son palafíticas. De manera general, la mayor posibilidad del uso de esta tecnología es para viviendas con estructuras en concreto o mampostería.

Ahora bien, las viviendas de interés prioritario son construcciones cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 SMLM)”.

Figura 38

Vivienda de interés prioritario en el Meta



Nota. Adaptado de *Avanzan proyectos de vivienda en Villavicencio* [Fotografía], por Periódico del Meta, 2016 (www.periodicodelmeta.com). Todos los derechos reservados [2023] Periódico del Meta.

Esta tipología se muestra en la tabla 14, además de una descripción de los materiales que se utilizan para elaborarlas, con el propósito de evaluar la posibilidad de implementación de la impresión 3D.

Tabla 14

Vivienda VIP e impresión 3D

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	No presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D

Concreto reforzado	Ladrillo, concreto reforzado, madera	Concreto reforzado	Concreto reforzado	Concreto, Teja	- Muros impresos en concreto sin columnas - Impresión de encofrado de cimentación - Impresión de perímetro de placas
Susceptibilidad impresión 3D	Esta tipología se presenta muy adecuada para el uso de la impresión 3D. El único elemento que presenta dificultades es la cubierta, ya que solo se puede utilizar la tecnología en cubiertas planas.				Posible

Ahora bien, la vivienda de interés social es un tipo de vivienda que no se define por sus materiales u otros aspectos. Esta, “es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM)”.

Figura 39

Vivienda de interés social en Cartagena



Nota. Adaptado de *Cartagena entre las 5 ciudades con más ventas de viviendas de Interés Social* [Fotografía], por Caracol Radio, 2016 (www.caracol.com.co). Todos los derechos reservados [2023] Caracol S.A.

En la Tabla 15 se muestra la presencia de esta tipología en cada región, se hace también una descripción de los materiales utilizados para cada elemento de la vivienda con el fin de evaluar si la impresión 3D puede utilizarse.

Tabla 15*Vivienda VIS e impresión 3D*

Amazonía	Andina	Caribe	Insular	Orinoquía	Pacífica
Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Cimentación	Muros	Columnas	Entrepiso	Cubierta	Posible uso 3D
Concreto reforzado, madera	Ladrillo, concreto reforzado, madera	Concreto reforzado, madera	Concreto reforzado, madera	Concreto, Teja (varía), madera	- Muros impresos en concreto sin columnas - Impresión de encofrado de cimentación - Impresión de perímetro de placas
Susceptibilidad impresión 3D	Esta tipología se presenta muy adecuada para el uso de la impresión 3D. Al igual que en la vivienda VIP, el único elemento que presenta dificultades es la cubierta				Posible

Es clave señalar que en la vivienda comercial entran muchos tipos de sistemas constructivos, materiales, diseños y tecnologías; pero al igual que en los demás ejemplos, la impresión 3D solo puede fabricar la estructura principal de este tipo de vivienda, cuando se utiliza el concreto reforzado, toda vez que la impresión 3D puede reemplazar elementos en madera o complementarse con estos, pero no los puede fabricar si el proyecto lo requiera. En consecuencia, se reduce solo a la construcción de viviendas con sistemas constructivos portantes elaborados en concreto u otros materiales que se han mencionado en este estudio, como geopolímeros y materiales naturales, etc.

En suma, cabe señalar que en Colombia existen diferentes tipologías constructivas, y dependiendo de la región hay un uso de materiales y elementos para la construcción de estas. La revisión permite inferir que la tipología que mejor se adapta a ser complementada por la impresión 3D es la empleada actualmente para la vivienda VIS y VIP. En Bucaramanga se cuenta con la vivienda VIS y la VIP hecho que puede permitir la adaptación a la impresión 3D sobre todo si se conocen y valoran sus beneficios en tiempo, costos y versatilidad de diseño.

4.3 Análisis Multiescalar

Este análisis se divide en tres tipos: macro, meso y micro y está respaldado con el análisis de las cifras de déficit habitacional cuantitativo y los retos frente a estas cifras.

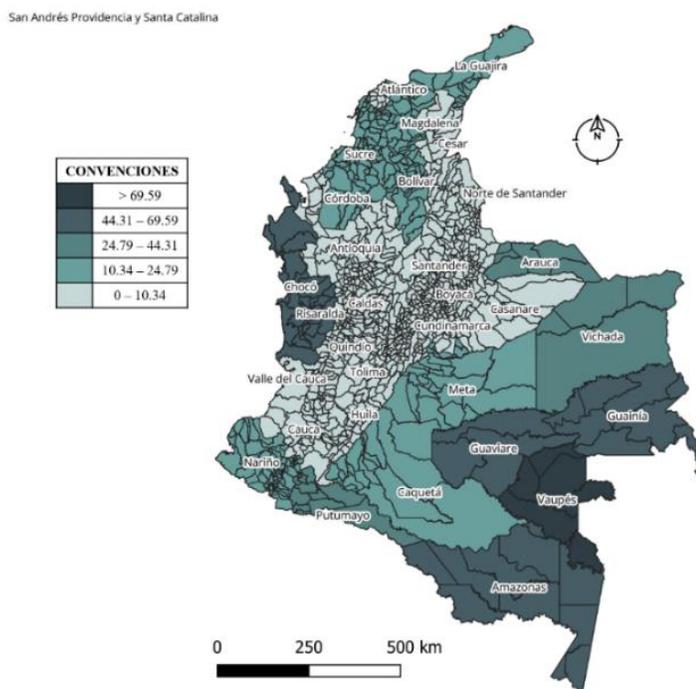
Cada análisis y muestreo de las respectivas escalas determina un porcentaje existente de déficit. Si bien es cierto que se escoge como nuestra de base de estudio Bucaramanga, Santander, es necesario abordar las diferentes escalas con el fin de conocer la importancia de la vivienda y el déficit existente, ya que este estudio busca mostrar la viabilidad para Bucaramanga, pero, también, mostrar las ventajas de como esta tecnología puede llegar a ser viable en diferentes lugares para lograr reducir el déficit habitacional.

4.3.1 Rango Macro

Como se mencionó al inicio del trabajo, el déficit habitacional cuantitativo en Colombia representa el 7.5% del total nacional de viviendas, lo que se traduce en 1'268.000 viviendas. En la Figura 48 se muestra el mapa de Colombia según el déficit cuantitativo por departamento.

Figura 40

Mapa de Colombia según el déficit cuantitativo por departamento



Nota. Elaboración propia con base en la información suministrada por el Geoportal del DANE.

Una de las principales conclusiones que se obtienen de las cifras de déficit habitacional cuantitativo es que los departamentos con porcentajes de déficit más altos son los que están más alejados de las zonas centrales del país. Para explicar mejor esta idea se muestra en la Figura 114 un mapa de la competitividad departamental.

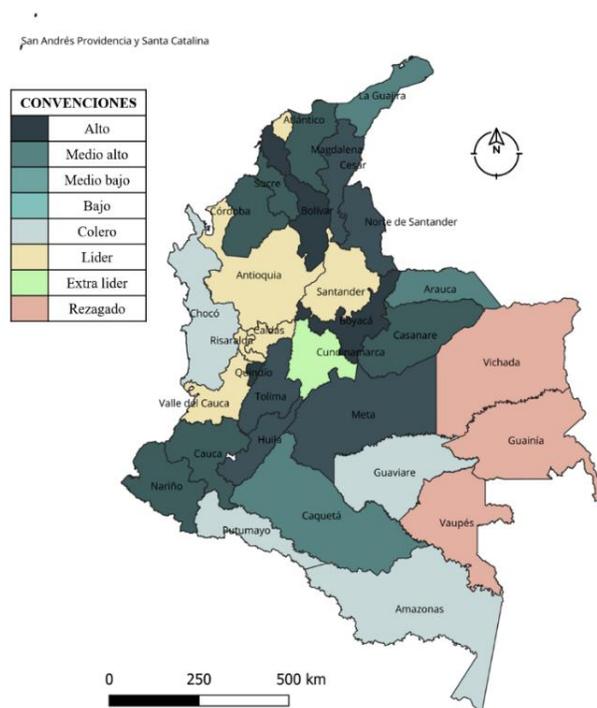
Según información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) esta competitividad se define de la siguiente manera: La competitividad departamental hace énfasis en que las ventajas competitivas de una región (capacidad de una economía regional para adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado, las nuevas tecnologías y los competidores) son producto de su desarrollo histórico, y dependen de su capacidad para crear futuras trayectorias de desarrollo (Huggins et al, 2014, citado en Ramírez y de Aguas, 2021).

Según cálculos determinados por el escalafón de competitividad para el año 2019, en los departamentos también se encuentran diferencias de acuerdo con cinco factores claves (Ramírez

y de Aguas, 2021): La fortaleza económica, la infraestructura y logística, el bienestar social y capital humano, la ciencia, tecnología e innovación, la institucionalidad y gestión pública. En el mapa se presenta la clasificación de la competitividad departamental según la CEPAL para el año 2021.

Figura 41

Mapa de Colombia según la competitividad departamental



Nota. Adaptado de *Clasificación de competitividad departamental* [Fotografía], por IGAC, 2021 (www.colombiaenmapas.gov.co). CC BY 4.0

Se observa que el departamento líder en competitividad es Cundinamarca, seguido de Antioquia, Atlántico, Santander y otros departamentos del centro del país.

Por otra parte, los departamentos más apartados y con mayor déficit habitacional cuantitativo son los que menos competitividad tienen frente a la implementación de nuevas tecnologías, incluso departamentos como Vichada, Guainía y Vaupés están rezagados. En consecuencia, la implementación de la impresión 3D para la construcción de vivienda social en

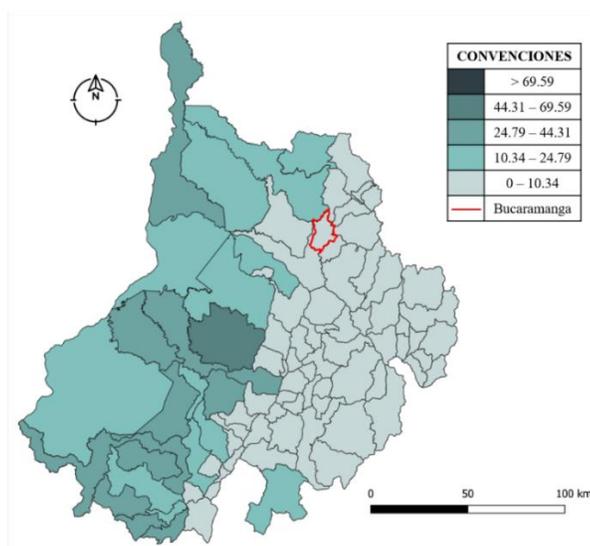
estos departamentos puede presentar muchos problemas. Además, la falta de conectividad puede aumentar mucho los costos de una vivienda construida con esta tecnología. Aun así, ocurre lo contrario en departamentos centrales, los cuales tienen gran competitividad para adaptarse a nuevos mercados o nuevas tecnologías.

4.3.2 Rango Meso

Para este rango o escala meso se analizó el departamento de Santander, el cual, en 2021 tuvo un déficit habitacional cuantitativo del 6,1% según cifras del DANE. En la Figura 115 se muestra el mapa de déficit de vivienda.

Figura 42

Déficit habitacional cuantitativo en Santander 2021



Nota: Elaboración propia con base en la información suministrada por el Geoportal del DANE.

En total, el 6,1% representa a 47.000 hogares en déficit cuantitativo, de los cuales 16.000 están en zonas urbanas y 31.000 en zonas rurales. Esta es una situación que ocurre en todos los departamentos del país, donde los sectores rurales son los que peores condiciones de habitabilidad presentan. Sin embargo, Santander hace parte de los departamentos líderes en competitividad frente a nuevos mercados y tecnologías.

4.3.3 Rango Micro

En este rango se estudió la ciudad de Bucaramanga. La ciudad tuvo un déficit habitacional cuantitativo de 9.795 viviendas, según las últimas cifras del DANE (2021).

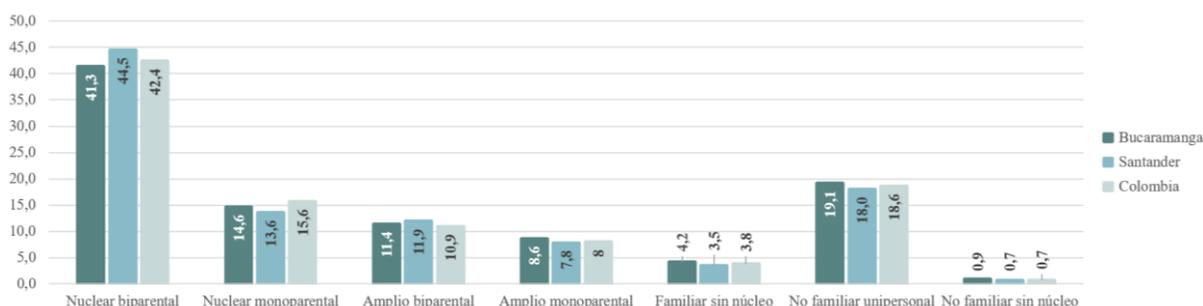
Bucaramanga, al ser la capital del departamento tiene una buena proyección para la implementación de la impresión 3D en la construcción de vivienda. En 2018, el total de viviendas en la ciudad era de 189.442. Los hogares se conforman de la siguiente manera:

- **Hogares Nucleares.** “Hogares conformados por padre y madre, con o sin hijos (biparental), o por madre o padre con hijos (monoparental)”
- **Hogares Amplios.** “Son aquellos conformados por un núcleo, más otros parientes o no parientes”
- **Hogares Sin Núcleo y Hogares no Familiares** “Son aquellos en los que no hay vínculos de padre, hijos o cónyuges, pero tienen otro parentesco con el jefe de hogar”

En la Figura 51 se muestran los tipos de hogares por porcentaje en las tres escalas de análisis (Colombia, Santander y Bucaramanga). Las cifras por departamento y ciudad son muy similares a la media nacional.

Figura 43

Porcentaje de hogares por tipo en Bucaramanga, Santander y Colombia

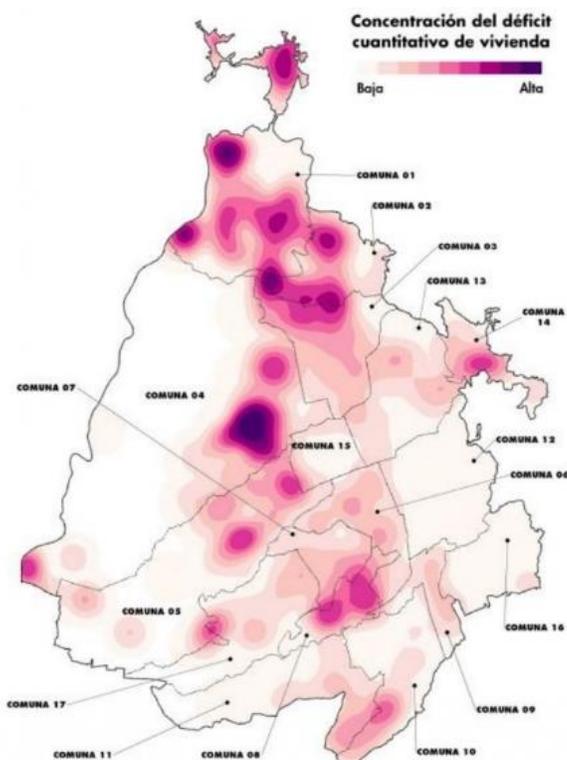


Nota. Adaptado *La información del DANE en la toma de decisiones regionales* [Fotografía], por DANE, 2021 (www.dane.gov.co). Todos los derechos reservados [2023] Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

En la Figura 52 se muestra la concentración de déficit cuantitativo de vivienda en Bucaramanga, siendo las comunas 1, 2 y 4 las más afectadas.

Figura 44

Concentración de déficit cuantitativo en Bucaramanga



Nota. Adaptado *La información del DANE en la toma de decisiones regionales* [Fotografía], por DANE, 2021 (www.dane.gov.co). Todos los derechos reservados [2023] Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Se escoge esta ciudad como estudio de escala micro debido a que es el lugar donde se realizó este estudio, de esta manera se facilitan muchas actividades en relación con el análisis de costos y estudios de competitividad.

5. Marco Proyectual

Este apartado reúne aspectos muy importantes de este estudio que tienen que ver con: Los rendimientos y los tipos, entendidos como rentabilidad. Las aplicaciones con relación a las estructuras. Lo concerniente a la mano de obra y el detalle de las funciones pertinentes. Los costos, sobre los cuales se enfatiza en su reducción. Los rendimientos en mampostería, que es la actividad que reemplaza a la impresión 3D. Igualmente los rendimientos en concreto, operarios, necesidades de maquinaria, equipos y costos, transporte, materiales requeridos y la programación que incluye los imprevistos.

El marco proyectual se enfocó, de manera analítica, a resolver la pregunta ¿De qué manera la incorporación de tecnologías de vanguardia, como la impresión 3D, implementada en la construcción de vivienda puede mejorar los rendimientos y disminuir los costos y tiempos de producción en la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander, aportando al sector de la construcción, el conocimiento sobre la implementación de esta tecnología?

El estudio técnico y económico, en el que fueron importantes las categorías constructivos-técnicos, costos/tiempos, sociales y estructurales.: realizado alrededor del tema de la impresión 3D o fabricación aditiva, en el campo de la construcción de vivienda, como una tecnología de vanguardia, trae aportes relacionados con: rendimientos, disminución de costos de producción, reducción de tiempos, aplicación, mano de obra y en otros aspectos como los beneficios, la utilidad, los productos resultantes y las ventajas con relación al entorno y a la seguridad en el trabajo.

5.1 Rendimientos

El término rendimientos en este proyecto se puede entender como rentabilidad, como el beneficio o el provecho obtenido en relación con los recursos utilizados, también como producto o utilidad, significados que adquieren sentido cuando se observan los ejemplos de los proyectos desarrollados y los estudios adelantados sobre el uso de esta tecnología novedosa que se vivencian a la hora de implementar dicha tecnología.

El rendimiento, también, puede depender del trabajo en equipo, entonces, es importante señalar que este puede variar según una serie de variables que incluyen la experiencia de los trabajadores, la dificultad del proyecto, las condiciones ambientales en el sitio de construcción y la eficacia de la organización.

En una obra de construcción o de fabricación, es importante tener en cuenta varios tipos de rendimientos para evaluar la eficiencia de la producción y el uso de los recursos.

Algunos de los tipos de rendimientos que se deben considerar son:

Rendimientos
La cantidad de trabajo que un trabajador puede completar en un período de tiempo específico se conoce como desempeño laboral
Rendimiento de la maquinaria: Se refiere a la cantidad de trabajo que puede realizar una máquina en un período de tiempo determinado.
Rendimiento de los materiales: Se refiere a la cantidad de material que se necesita para producir una cantidad determinada de productos o realizar una cantidad determinada de trabajo.
Rendimiento económico: Este se refiere al retorno de la inversión en la producción o construcción.

Con respecto a la impresión 3D los rendimientos en tiempo de construcción de un edificio impreso en 3D cabían según una serie de variables, incluido el tamaño y la complejidad del edificio, la tecnología de impresión empleada(maquina), el nivel de experiencia del equipo de construcción y las condiciones específicas del sitio.

En términos generales, la impresión 3D puede acelerar la construcción considerablemente, más que las técnicas convencionales, ya que hasta el momento tenemos como dato de una de las impresoras más usadas y eficientes la máquina BOD 2 que es capaz de imprimir hasta 1 metro por segundo y de imprimir hasta 10 toneladas de hormigón por hora, a continuación,

Algunos de los tipos de rendimientos que se deben considerar en la impresión 3D.

Rendimientos
Tamaño del equipo: tanto el tamaño como la composición del equipo de construcción pueden afectar el resultado. Un equipo experimentado de profesionales que trabajan juntos para construir una impresora 3D, incluidos operadores de impresoras 3D, técnicos de mantenimiento, expertos en diseño, pueden trabajar de manera más eficaz y coordinada, mejorando el rendimiento general.
Tecnología de impresión utilizada: varias técnicas de impresión 3D pueden tener diferentes características y velocidades. La velocidad a la que algunas impresoras 3D pueden construir una estructura tendrá un impacto en el desempeño de cada equipo. Al estimar el rendimiento, es fundamental tener en cuenta la tecnología específica y sus capacidades. Como ejemplo podemos tomar el rendimiento de la impresora BOD 2, de la empresa COBOD con un rendimiento de 1.4 m ³ de concreto /hora y trabaja a una velocidad de 400-500MM/S
Nivel de automatización: el rendimiento por equipo puede verse afectado por el grado de automatización en el proceso de construcción. Las impresoras 3D más sofisticadas pueden necesitar menos asistencia manual y supervisión constante, lo que permite a los operadores concentrarse en otras tareas. El rendimiento del equipo en su conjunto puede mejorar como resultado de esto.
Coordinación entre etapas: Para un alto rendimiento, debe haber una coordinación efectiva entre las distintas etapas de construcción. Para lograr esto, el equipo de diseño, los operadores de impresoras 3D y otros trabajadores involucrados en las tareas complementarias deben coordinar sus esfuerzos con cuidado y de manera eficiente.

La construcción estimada de un edificio pequeño a medio en M2 es de 40 a 60 m² utilizando métodos convencionales que pueden cambiar dependiendo de una serie de variables, incluida la complejidad del diseño, la ubicación del sitio y las condiciones ambientales, así como las habilidades y productividad de los trabajadores y contratistas. se puede estimar que, utilizando técnicas de construcción convencionales, esta edificación puede tardar entre 4 y 6 meses en completarse, aunque esto puede variar mucho.

Es importante recordar que el tiempo de construcción puede cambiar dependiendo de cómo se realice el proyecto. En el caso de la impresión 3D, al ejecutar en la aplicación de muros, que es donde la impresión 3D es diferente a cualquier método constructivo ya que su sistema de impresión solo permite remplazar la mampostería tradicional, se puede estimar que para una edificación sus muros externos e internos se podría llegar a imprimir en 24 horas, porque lo estimaremos con el uso de máquinas BOD 2 capas de imprimir hasta 1.4m³ concreto/hora. Esto reduce el tiempo y aumenta la eficiencia para la implementación de otras actividades que se mantienen iguales como en la construcción tradicional.

5.2 Aplicaciones

Las estructuras utilizadas en la construcción sirven para resistir las acciones y transmitir las al suelo; son el componente más duradero de la obra. Para soportar el peso y las fuerzas del edificio, cada componente de la estructura debe funcionar como un todo.

Hay varios tipos de estructuras según el tipo de edificio o el método de construcción utilizado, los componentes principales de la estructura de un edificio convencional pueden cambiar. Sin embargo, aquí hay una lista de los componentes que están presentes en la mayoría de las construcciones tradicionales:

La cimentación, que es una parte de la estructura que está por debajo del nivel del suelo y le da soporte y estabilidad al edificio. Una losa de concreto, pilotes, cimientos o una combinación de estas cosas puede servir como base.
Los componentes horizontales conocidos como vigas distribuyen la carga a las paredes o columnas de soporte al unir las columnas. Las vigas suelen estar hechas de hormigón armado o acero, al igual que las columnas.
Los pisos, techos y cubiertas del edificio están hechos de losas, que son estructuras planas horizontales. Pueden estar hechos de acero pesado, losas ligeras, hormigón sólido u otro material.
Al proporcionar soporte lateral y resistencia a la compresión, los muros son estructuras verticales. Construidos con materiales como ladrillos, bloques de hormigón, acero o madera, pueden ser muros de carga o medianeras.

Cubiertas: Las estructuras superiores que encierran y protegen el edificio se denominan cubiertas. Según el diseño y los requisitos de la estructura, pueden estar formadas por diferentes componentes, como estructuras de madera, cerchas metálicas, paneles de hormigón o tejas.

Los elementos verticales conocidos como escaleras permiten el movimiento vertical entre las distintas plantas de un edificio. Pueden construirse con materiales como madera, acero, hormigón u otra mezcla.

Estructuras que necesitan refuerzo: en algunos edificios, se utilizan componentes adicionales como puntales, contrafuertes o muros de contención para fortalecer el edificio y aumentar su resistencia.

La aplicación de la impresión 3D, también proporciona la posibilidad de construir una estructura personalizada de manera rápida, reemplazando algunas de las estructuras de los métodos tradicionales como columnas, vigas y muros en mampostería o concreto. En otros casos como su cimentación se podría mantener, pero con una ejecución diferente. Se reemplazan muros de mampostería y se debe llevar y conocer un paso a paso para la ejecución de esta nueva tecnología a la deposición de los muros impresos a continuación lo que se deben considerar:

Diseño: El diseño de la estructura se realiza mediante software de modelado 3D. dependiendo de cual impresora se tenga dependerá el guardado del archivo.

Preparación de la plataforma: La superficie sobre la que se imprimirá el muro debe ser preparada como plataforma de impresión. Según el tipo de impresora 3D, se pueden utilizar diferentes materiales para la plataforma.
--

Preparación del material de construcción: El material de construcción, que puede ser hormigón u otro tipo de mezcla especialmente hecha para impresión 3D, está listo y cargado en la impresora.
--

<ul style="list-style-type: none"> • Impresión de la pared: la impresora 3D comienza a imprimir la pared capa por capa mientras se adhiere al diseño predeterminado. Según la tecnología utilizada, la velocidad de impresión y la resolución pueden cambiar.
--

Acabado de paredes: Después de la impresión, la pared puede necesitar un trabajo adicional, como lijado de imperfecciones o recubrimientos para aumentar su resistencia y apariencia final, este apartado en método de construcción tradicional podría ser la aplicación de pañetes, pero en menor medida

Los componentes principales de la estructura incluyen cimentación, columna, vigas, losas, paredes, cubierta y escaleras. La impresión 3D es una tecnología que proporciona la posibilidad de construir una estructura personalizada rápidamente y proporciona la posibilidad de reemplazar la mampostería del método convencional. Además, la impresión de muros y acabado

de pared para reemplazar la estructura convencional con una de muros impresos de manera más rápida.

5.3 Mano de obra

En la construcción tradicional, el trabajo suele requerir mucha mano de obra, dependiendo de la complejidad del proyecto, También es fundamental tener en cuenta, que, según las leyes y normas y la demanda cambiante del mercado laboral, los costos y la disponibilidad de los trabajadores, pueden cambiar.

Los empleos y funciones. son:

Arquitecto: Planifica el proyecto de construcción y se encarga de que se complete.
Ingeniero estructural: Planificar y estimar los requerimientos estructurales del edificio.
Ingenieros civiles están a cargo de los aspectos estructurales y técnicos de la construcción.
Ingeniero Eléctrico: Crear el sistema de iluminación y eléctrico.
Ingeniero Mecánico: Crea el sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado).
Ingeniero en hidráulica: Crear el sistema de plomería y saneamiento.
Topógrafo: Aquel que mide y analiza topográficamente el paisaje.
Director de obra: supervisa y organiza todo el proyecto.
Contratista general: Encargado de supervisar la ejecución general del proyecto y de servir de enlace con los distintos subcontratistas.
Albañiles: Construyen los muros, las bases y la estructura fundamental del edificio.
Instaladores para el sistema de iluminación y eléctrico, por electricistas.
Instaladores para el sistema de fontanería y saneamiento, fontaneros.
Carpinteros: construyen e instalan ventanas, puertas, trabajos en madera y otros trabajos en madera.
Soldadores: Realizan trabajos de soldadura de estructuras metálicas.
Profesionales de la pintura deben terminar las superficies y las paredes con pintura.
Yeseros: Colocación de plafones y revestimientos de yeso.
Instaladores de cristales: Colocan ventanas y cristales.
Instaladores de pisos: Instalamos alfombra, cerámica, porcelanato, etc.
Operadores de maquinaria pesada manejan y manejan equipos como grúas y excavadoras.
Operadores de herramientas y maquinarias específicas para la industria de la construcción
Inspectores de edificios: realizan inspecciones y garantizan el cumplimiento de las normas y reglamentos.
Personal de seguridad: está a cargo de mantener el orden en el sitio de construcción.
Personal de limpieza: tiene a cargo la limpieza.

En comparación con la construcción convencional, la impresión 3D de edificios requiere menos trabajadores y responsabilidades y esto lo contempla la construcción de impresión 3D en varias etapas del proceso.

A continuación, se enumeran algunos de los trabajadores necesarios para la construcción de impresión 3D que son diferentes a los de la construcción tradicional:

Los modelos que se imprimirán en 3D también pueden requerir el uso de personal de diseño que utilizará software CAD o BIM.
Es crucial tener en cuenta que la aplicación de la impresión 3D en la construcción aún está en sus inicios y puede requerir conocimientos y especializaciones particulares que aún no son comunes en el sector de la construcción tradicional.
Ingeniero en diseño 3D: Se encargan de desarrollar modelos digitales en 3D de los artículos que se imprimirán. Los modelos se crean utilizando un software de diseño asistido por computadora (CAD) antes de configurarlos para la impresión.
Operador de impresora 3D: este empleado está a cargo de administrar el proceso de impresión, cargar los materiales de impresión y operar la impresora 3D. También se encarga del mantenimiento fundamental de la impresora.
Técnico de materiales: este individuo es un experto en materiales de impresión 3D. Ayuda a elegir los materiales apropiados para cada proyecto y realiza controles de calidad para asegurarse de que cumplan con las especificaciones.
Especialista en postprocesado: Después de que se completa un objeto impreso en 3D, con frecuencia es necesario realizar tareas de postprocesamiento, como quitar los soportes de impresión, lijar, pulir o pintar el objeto. Para lograr un acabado final de alta calidad, los expertos en postprocesamiento se encargan de estas tareas.
Ingeniero en robótica: la impresión 3D puede incorporarse ocasionalmente en sistemas de robótica y automatización. Los sistemas robóticos utilizados en la construcción de impresión 3D pueden incluir brazos robóticos, sistemas de transporte y sistemas de ensamblaje automatizados. Los ingenieros robóticos se encargan de diseñar y programar estos sistemas.
Especialista en control de calidad se encarga de inspeccionar y evaluar la calidad del objeto después de haberlo impreso en 3D. Comprueba las dimensiones, la resistencia y otras características del objeto impreso utilizando herramientas y equipos de medición para asegurarse de que cumple con las especificaciones.
Gerente de proyecto: en proyectos de construcción de impresión 3D más grandes, es posible que se requiera un gerente de proyecto para coordinar todas las actividades y garantizar que el proyecto se termine a tiempo y dentro del presupuesto. El director del proyecto dirige el equipo, interactúa con los clientes y controla los recursos.

5.4 Costos

En todo el estudio se reitera la disminución de los costos. Cada uno de los proyectos de vivienda y las investigaciones dejan inferir que la implementación de las impresiones 3D contribuye a la reducción de los costos. Por ejemplo, en uno de los estudios del Perú, en los costos se halló una reducción del 39%, reducción que afectó, también, la tasa interna de retorno (TIR), la cual es favorable para la impresión 3D en un 7%, factor que los inversionistas tienen en cuenta para evaluar el costo de oportunidad.

Se pueden reducir los costos en aspectos como la producción de mezcla, en la cubierta de diseño orgánico, en la fabricación del hormigón, en la impresión a escala, en mano de obra y en la impresión de muros

La impresión 3D genera un ahorro de hasta alrededor del 35% del precio total de la vivienda, según la experiencia en el Reino Unido. Esta tecnología es capaz de reemplazar la construcción tradicional de paredes externas e internas con una reducción del 30% en los costos. Dentro de los costos se mostrará el tipo de mano de obra para la ejecución de una edificación tradicional y también la mano de obra que se debe agregar con la impresión 3D.

Una construcción impresa en 3D puede diferir significativamente en costos de mano de obra, con relación a una construcción convencional y tener algunas variaciones como sucede con la mano de obra especializada.

En la construcción tradicional se necesita una considerable mano de obra especializada en diversos oficios, como albañilería, carpintería, fontanería, etc. Cada tarea es realizada por empleados que han recibido la formación necesaria.

Cabe resaltar que hay la necesidad de operadores que puedan controlar y monitorear equipos de impresión 3D, así como técnicos para el mantenimiento y la resolución de problemas, que se pueden presentar en la construcción de impresión 3D.

En algunos casos al momento de hacer la compra de la máquina de impresión 3D, en este caso una estudiada es la empresa COBOD, esta proporciona la capacitación en su presión de compra que requiere la maquina y demás componentes para su funcionamiento.

La demanda de mano de obra calificada en oficios tradicionales es menor. Se requiere menos trabajo manual intensivo en la construcción tradicional donde hay muchas tareas como levantar y colocar ladrillos y mezclar cemento que requieren mucho trabajo manual; tareas pueden llevar mucho tiempo y ser físicamente agotadoras.

Por el contrario, muchos de estos procesos están automatizados en la construcción impresa en 3D, lo que elimina la necesidad de un trabajo manual extenuante; en lugar de realizar grandes esfuerzos físicos, los operadores de la impresora 3D supervisan el proceso y realizan tareas más técnicas.

La mano de obra es un recurso fundamental en cualquier proyecto de construcción, toda vez que, la calidad y eficiencia de la mano de obra pueden afectar significativamente el resultado final del proyecto y su costo. Es crucial llevar a cabo una planificación cuidadosa y factores como la cantidad de empleados para tener en cuenta sus habilidades y tarifas laborales, se presentan costos de algunas de las cuadrillas más significativas en una obra tradicional.

Las siguientes, son las diversas tarifas de cuadrilla: albañilería, pintura, carpintería en madera, eléctrica, eléctrica especializada, cableado, entre otras.

CUADRILLA – ELECTRICA
Total, cuadrilla al día \$ 320.717
Total, cuadrilla por hora \$ 40.090
Encargado de obra (1) salario promedio día: \$ 77.936 día sobre 2 SMMLV
Ayudante (1) salario promedio día: \$ 99.280 día sobre 1.2 SMMLV

Nota. Información tomada de construdata edición 206

CUADRILLA - METALICAS
Total, cuadrilla al día \$ 392.240

Total, cuadrilla por hora \$ 49.030
Soldador (1) salario promedio día: \$ 186.309 día
Oficial (1) salario promedio día: \$ 121.390 día
Ayudante (1) salario promedio día: \$ 84.540 día

Nota. Información tomada de construdata edición 206

CUADRILLA – CARPINTERIA EN MADERA
Total, cuadrilla al día \$ 257.521
Total, cuadrilla por hora \$ 32.190
Carpintero (1) salario promedio día: \$158.241 día sobre 2 SMMLV
Ayudante (1) salario promedio día: \$ 99.280 día sobre 1.2 SMMLV

Nota. Información tomada de construdata edición 206

CUADRILLA – CABLEADO ESTRUCTURADO
Total, cuadrilla al día \$ 342.061
Total, cuadrilla por hora \$ 46.577
Oficial (2) salario promedio día: \$ 186.309 día sobre 2.5 SMMLV

Nota. Información tomada de construdata edición 206

CUADRILLA – ALBAÑILERÍA
Total, cuadrilla al día \$ 205.930
Total, cuadrilla por hora \$ 25.721
Oficial (1) salario promedio día: \$121.390 día sobre 1.5 SMMLV
Ayudante (1) salario promedio día: \$ 84.540 día sobre 1.5SMMLV

Nota. Información tomada de construdata edición 206

CUADRILLA - TOPOGRAFIA
Total, cuadrilla al día \$ 678.301
Total, cuadrilla por hora \$ 84.788
Topógrafo (1) salario promedio día: \$ 340.601 día
Auxiliar topografía (1) salario promedio día: \$ 186.309 día
Cadenero (1) salario promedio día: \$ 121.390 día

Nota. Información tomada de construdata edición 206

5.5 Rendimiento en mampostería.

Siendo la mampostería la actividad que reemplaza la impresión 3D, se presentan los rendimientos de las dos actividades

Tabla 16

Rendimientos

ACTIVIDAD	RENDIMIENTO	UNIDAD	REND. /INDIRECTO/POR UNIDAD	CUADRILLA
Muro de tabique rojo común de 28 cms de espesor asentado con mortero cem-arena 1:3:12 acabado común	4.00	m2	0.250	1 oficial 1 ayudante
Muro de tabique rojo común de 14 cms de espesor asentado con mortero cem-arena 1:3:12 acabado común	7.00	m2	0.143	1 oficial 1 ayudante
Muro de tabique rojo común de 21 cms de espesor asentado con mortero cem-arena 1:3:12 acabado común	4.00	m2	0.250	1 oficial 1 ayudante
Muro de tabique rojo común de 14 cms de espesor asentado con mortero cem -arena 1:3:12 acabado aparente dos caras	3.50	M2	0.286	1 oficial 1 Ayudante
Muro de ladrillo h-10 30 x 20 x 10 cm	6.00	M2	0.167	1 oficial 1 Ayudante
Muro de ladrillo h-15 30 x 20 x 15 cm	6.00	M2	0.167	1 oficial 1 Ayudante

Nota: Adaptado de: A. Remolina, L. M. Polanco

Muchos factores afectan el desempeño de la mampostería, incluido el nivel de habilidad del albañil, el tipo de unidades de mampostería utilizadas, la calidad del mortero y la eficiencia del proceso de construcción.

Un mayor rendimiento significa que se pueden completar más trabajos de albañilería en un tiempo determinado, lo que aumenta la productividad y potencialmente reduce los costos generales de construcción.

Ahora bien, es importante tener en cuenta que el rendimiento de la mampostería puede variar según los requisitos específicos del proyecto, el tamaño y la complejidad de los componentes de mampostería y la disponibilidad de mano de obra y materiales. Por lo tanto,

estos factores deben tenerse en cuenta al estimar el tiempo y el costo necesarios para la mampostería.

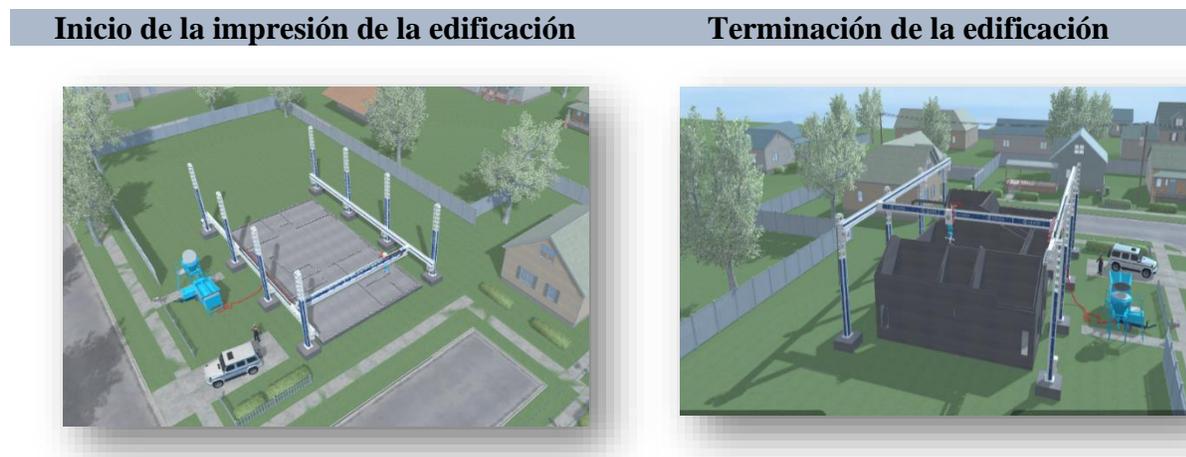
5.6 Rendimiento en impresión 3D en concreto

El rendimiento en la impresión de muros se muestra con algunos ejemplos de impresión 3D en concreto de la empresa COBOD, donde se pueden determinar los m² en muros la cantidad de mortero usado y el tiempo en el que se ejecutó.

Nombre del proyecto: American university Project
Velocidad de impresión (mm/segundos): 500
Total, de tiempo de impresión: 1 día 12 horas y 14 minutos
Cantidad de material usado: 47m ³
Numero de capas impresas: 141

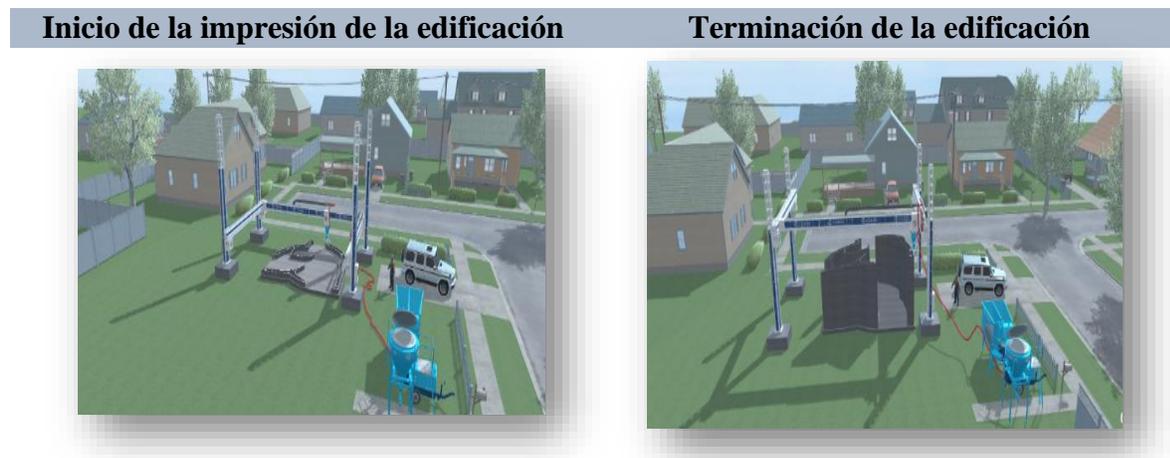
Figura 45

Inicio y terminación de impresión de edificación

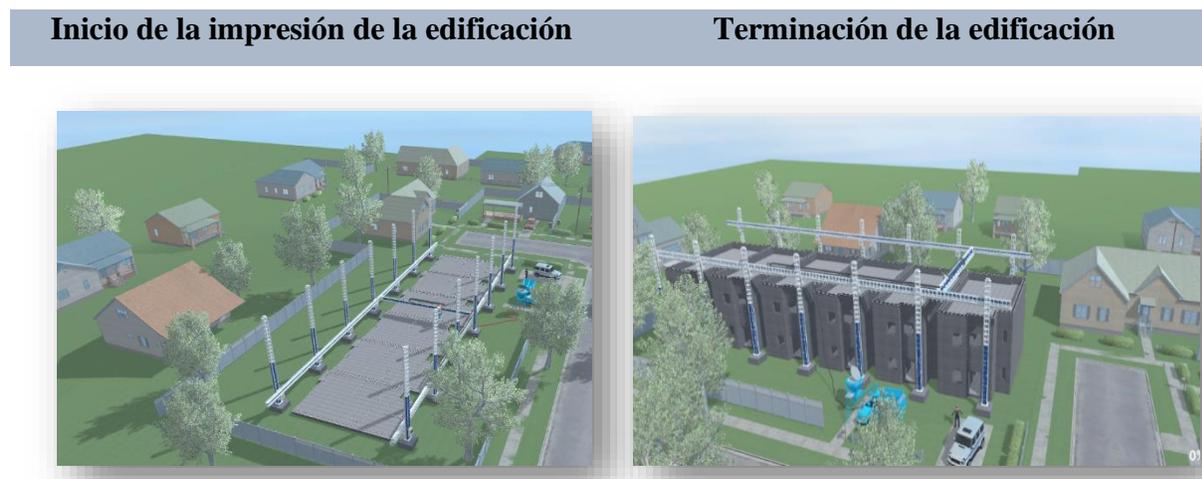


Nota: Adaptado de Imágenes tomadas del simulador de Cobod

Nombre del proyecto: The BOD (Copenhagen, Denmark)
Velocidad de impresión (mm/segundos): 500
Total, de tiempo de impresión: 5 horas y 10 minutos
Cantidad de material usado: 7,8 m ³
Numero de capas impresas: 94

Figura 46*Inicio y terminación de impresión de edificación**Nota:* Adaptado de Imágenes tomadas del simulador de Cobod.

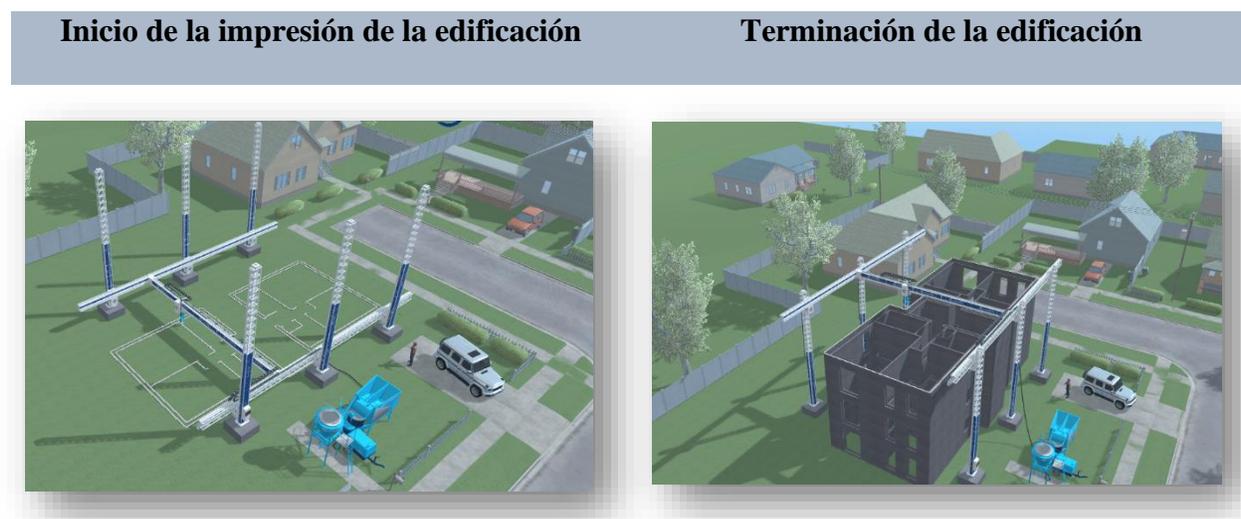
Nombre del proyecto: 6 rowhouses
Velocidad de impresión (mm/segundos): 500
Total, de tiempo de impresión: 6 días 20 horas y 8 minutos
Cantidad de material usado: 189,8 m ³
Numero de capas impresas: 174

Figura 47*Impresión inicial y final de la edificación**Nota:* Adaptado de Imágenes tomadas del simulador de Cobod

Nombre del Proyecto: 6 unit apartment block (planned, uk)
Velocidad de impresión (mm/segundos): 500
Total, de tiempo de impresión: 3 días y 55 minutos
Cantidad de material usado: 125 m ³
Numero de capas impresas: 207

Figura 48

Inicio y terminación de la impresión de la edificación



Nota: Adaptado de imágenes tomadas del simulador de COBOD

Se puede determinar que el rendimiento de la máquina al imprimir edificaciones es bastante eficiente ya que puede llegar a imprimir los muros de tres pisos como el proyecto 6 unit apartment block (planned, uk) que tiene un área de 693m² en un tiempo 3 días y 55 minutos

5.7 Operarios

Los diferentes tipos de operadores pueden desempeñar diversas funciones y tareas en los sistemas de construcción. Los siguientes son algunos ejemplos de tipos de trabajadores de la construcción.

Director de obra
Perfil: ingeniero civil o arquitecto titulado y con tarjeta profesional, con experiencia en coordinación, ejecución y control de obras civiles. Su objetivo es supervisar el avance del proyecto, el control del presupuesto y garantizar que se cumplan las directrices dadas por el comité técnico y la interventoría
Salario mensual
Salario mensual promedio: nominal \$ 11,600,000
Con prestaciones: \$ 17,060,985

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Residente de obra
Perfil: ingeniero civil, arquitecto o profesional en el área de la construcción titulado y con matrícula, encargado de dirigir la ejecución de la obra, conforme con los planos y las especificaciones técnicas determinadas y las especificaciones técnicas determinas en el proyecto. Es el responsable de que las labores se finalicen con la calidad y el tiempo estipulado.
Salario mensual promedio: nominal \$ 6,380,000
Con prestaciones \$ 9,405,33

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

SISOMA (Seguridad industrial, seguridad ocupacional y medio ambiente)
Perfil: Profesional en salud ocupacional con certificación sisoma, responsable de conocer, liderar, implementar y evaluar el desarrollo del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo SGSST. Debe mantener el programa educativo y promocional para todos los trabajadores y contratistas.
Salario mensual promedio: nominal \$ 4,060,000
Con prestaciones \$ 6,002,821

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Almacenista
Perfil: estudiante, técnico o tecnólogo en ingeniería, arquitectura o profesiones auxiliares con conocimientos en logística, sistemas y materiales. Con capacidad para controlar, organizar y manejar el inventario de la obra.
Salario mensual promedio: nominal \$ 2,228,606
Con prestaciones \$ 3,312,470

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Contramaestro
Perfil: con certificado de competencias laborales como maestro de obra del SENA. Su objetivo es asistir al maestro general en la ejecución de la obra en todos sus frentes. Debe tener certificado en seguridad industrial, seguridad ocupacional y medio ambiente, Sisoma.

Salario mensual promedio: nominal \$ 2,900,000
Con prestaciones: \$ 4,300,640

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Oficial
Perfil: Persona con conocimientos en el sector de la construcción y ejecución de obra, con estudios básicos en redes si lo amerita la cuadrilla a la que pertenece, con capacidad para ejecutar arreglos y remates en las diferentes etapas de la obra.
Salario mensual promedio: nominal entre \$ 2,228,606 y \$ 2,900,000
Con prestaciones entre: \$ 3,312,470 y \$ 4,300,640

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Ayudante
Perfil: empleado conocimiento en temas generales de obra y con capacidad para ejecutar actividades básicas de la misma en las diferentes etapas.
Salario mensual promedio: nominal entre \$ 1,300,606 y \$ 1,880,606
Con prestaciones entre: \$ 1,951,466 y \$ 2,802,094

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Ahora bien, teniendo en cuenta que para la impresión 3D se determinan unos operarios más específicos y calificados, diferentes a los que se requieren en los sistemas tradicionales.

Especialista en control de calidad
Perfil: Como especialista en control de calidad, se prevé que el individuo posea experiencia en áreas como gestión de calidad, análisis de datos estadísticos y evaluación, implementación y control de sistemas de calidad y producción. También deben poseer habilidades de trabajo en equipo, comunicación y análisis, así como la capacidad de resolver problemas técnicos.
Salario mensual promedio: nominal entre \$ 3.500.000

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Ingeniero de procesos
Perfil: Diseñar, implementar y mejorar los procesos industriales en una empresa de producción o fabricación es el deber principal de un ingeniero de procesos. La optimización de procesos es un objetivo de los ingenieros de procesos que trabajan para aumentar la eficiencia de la producción.
Salario mensual promedio: nominal entre \$ 2.500.000

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Ingeniero de Robótica

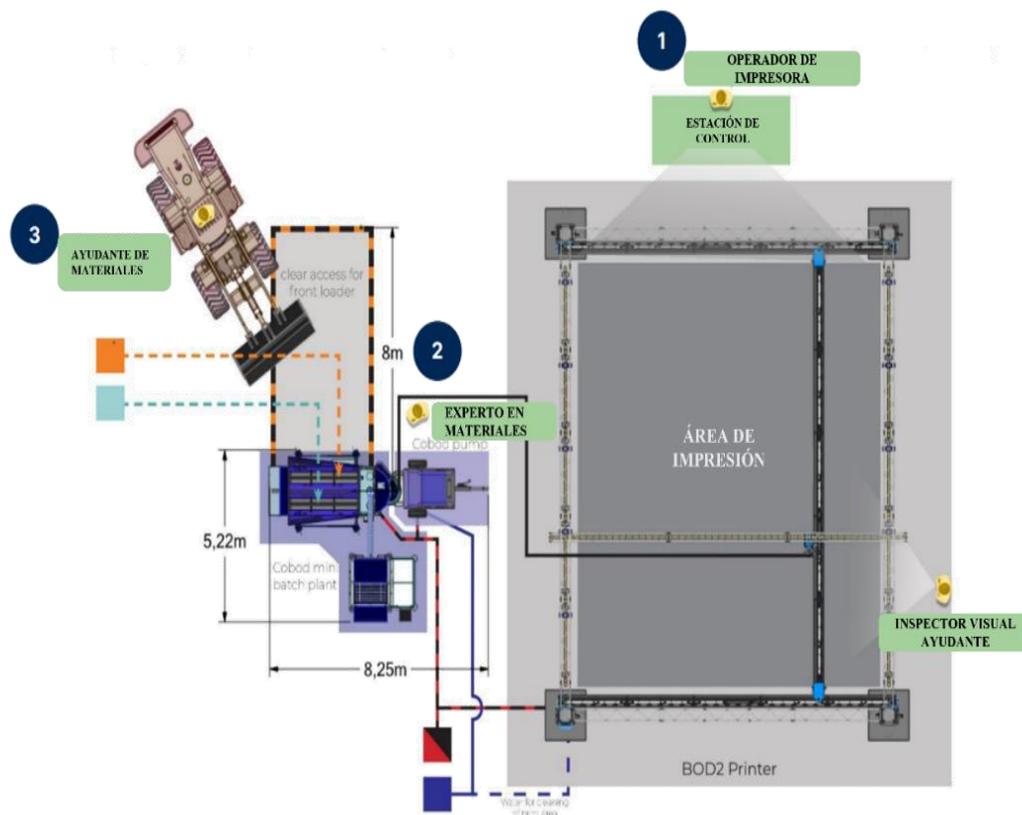
Perfil: Un experto que diseña, construye, opera y mantiene sistemas robóticos se conoce como ingeniero en robótica. Su currículum enumera experiencia en áreas como programación, inteligencia artificial, mecánica y electrónica.

Salario mensual promedio: nominal entre \$ 3.500.000

Nota. Información tomada de construdata. Edición 206

Figura 49

Tipos de máquinas, impresora y planta de concreto



Nota: Adaptado de presentación general de COBOD

En la figura se visualizan los tipos de máquinas, la impresora, la planta de concreto y 3 operación que se necesitan para la correcta ejecución de la impresión.

Los trabajadores manuales y los operadores de equipos son esenciales en la construcción tradicional. Ellos se encargan de realizar tareas como la construcción de muros, la instalación de sistemas de plomería y electricidad, y la aplicación de revestimientos y acabados, entre otros.

Estos trabajadores necesitan un conjunto específico de habilidades y experiencia en varios oficios relacionados con la construcción. Para cubrir todas las áreas requeridas en un proyecto de construcción, también es necesario un equipo diverso de especialistas.

Por otro lado, la mano de obra se reduce significativamente en la impresión 3D. Al colocar materiales en capas, generalmente cemento, según lo indique un diseño digital, la tecnología de impresión 3D permite la construcción de estructuras.

Los operadores aquí tienen una responsabilidad más técnica y están a cargo de supervisar y mantener las impresoras 3D, así como de programar los diseños y hacer los ajustes necesarios. Sin embargo, a diferencia de la construcción convencional, se necesita menos gente en el momento de la ejecución de los muros.

El uso de mano de obra y operadores es crucial tanto en la construcción convencional como en la impresión 3D. Si bien se necesita un equipo más grande de trabajadores con habilidades especializadas en varios oficios para la construcción, en impresión 3D solo se necesita un pequeño equipo con experiencia en esta tecnología.

Además, la industria de la construcción podría beneficiarse de las ventajas de velocidad, costo y diseño que podría proporcionar la impresión 3D, pero todavía hay algunos problemas técnicos que deben resolverse antes de que pueda usarse ampliamente.

5.8 Necesidades de maquinaria, equipos y costos

En este trabajo se investigaron unos referentes y artículos que nos hablaban de las diferentes máquinas de impresión 3D que se han usado en gran tamaño de construcción: los equipos de impresión 3D para la industria de la construcción están contruidos para tener una gran capacidad de construcción. Pueden imprimir estructuras grandes como paredes,

columnas y elementos arquitectónicos a gran escala porque pueden tener grandes dimensiones de altura, ancho y largo.

5.9 Impresoras

COBOD BOD2:

Área de impresión: Varios tamaños disponibles (hasta 12 metros de ancho)

Resolución de capa: Variable

Tecnología de impresión: Contour Crafting (impresión continua de concreto)

Precio aproximado: alrededor de 500.000 euros en adelante. a pesos colombianos del mes de mayo = 2.082.000.000

https://cobod.com/?gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEd88OYTeby62QDJaNQiHgOUz8RZdYC82dIjbiDSngnMdi_Nlu1eunEaApyTEALw_wcB

ICON Vulcan II:

Área de impresión: Varios tamaños disponibles (hasta 6 metros de ancho)

Resolución de capa: Variable

Tecnología de impresión: Contour Crafting

Precio aproximado: alrededor de \$250,000 - \$350,000 a pesos colombianos del mes de mayo = 1.125.135.000 - 1.575.118.900

<https://www.iconbuild.com/technology>

XtreeE D-Shape:

Área de impresión: Varios tamaños disponibles (hasta 5 metros de ancho)

Resolución de capa: Variable

Tecnología de impresión: Impresión robótica de concreto

Precio aproximado: Depende del proyecto y tamaño específico

<http://www.3dprintetbyggeri.dk/pdf/bes%C3%B8gsrapporter/XtreeE.pdf>

CyBe RC 3Dp:

Área de impresión: Varios tamaños disponibles (hasta 9 metros de ancho)

Resolución de capa: Variable

Tecnología de impresión: Impresión robótica de concreto, pero sus precios inician en 150.000 – 180.000 euros a pesos colombianos 629.100.000 – 754.920.000

Precio aproximado: Depende del proyecto y tamaño específico

<https://cybe.eu/>

S-Squared Automated Construction System (SQ3D):

Área de impresión: Varios tamaños disponibles (hasta 2.4 metros de ancho)

Resolución de capa: Variable

Tecnología de impresión: Impresión de concreto por deposición

<https://www.sq4d.com/>

Figura 50

Impresora

IMPRESORA VULCAN						
EMPRESA	REFERENCIA	MEDIDAS MÁXIMAS DE IMPRESIÓN			ÁREA MÁX.	MEJORAS
ICON	VULCAN	45.7m	11.6m	3.7m	278.7m²	1.5 veces más grande, 2 veces más rápido que la generación anterior (actual: 3°)
CONCRETO		INTERFAZ			MAGMA - FÁBRICA DE CEMENTO	
2000 - 3500 psi		BuildOS			"Fábrica de cemento inteligente y portátil que alimenta una impresora Vulcan con material para imprimir una casa. Inteligente y trabajando en perfecta sincronización con una impresora Vulcan en el sitio, Magma elimina las conjunturas del material cementoso complejo y de alto rendimiento".	
FUNCIONAMIENTO			IMÁGENES			
"El sistema BuildOS traduce planos de planta en trabajos de impresión y luego dirige Vulcan y Magma, utilizando datos en tiempo real hasta el milisegundo para producir estructuras impresas de la más alta calidad en el mundo"						
LOGO		EQUIPOS COMPLEMENTARIOS				
		MAGMA - FÁBRICA DE CEMENTO Y MÁQUINA DE BOMBEO				
		Consciente del clima y el medio ambiente, una unidad Magma ajusta y mezcla el material Lavacrete de ICON en tiempo real para obtener el mejor material posible. 				

IMPRESORA 3D BEM PRO BIGGER 9500						
EMPRESA	REFERENCIA	MEDIDAS MÁXIMAS DE IMPRESIÓN			VELOCIDAD MÁXIMA DE IMPRESIÓN	ÁREA MÁXIMA
BE MORE 3D	BIGGER 9500	22m (o más)	9.5m	7m	200mm/sag	264m² por planta
ANCHO DE MUROS		POSIBILIDADES			OPERADORES (3 o 4 Recomendados)	
6 a 21cm		"Gracias a sus guías nivelables [permiten el movimiento de la máquina], construye de una hasta 22m en línea sin necesidad de desmontar la máquina".			Montaje: 5h + 3 operarios Desmontaje: 5h + 3 operarios Transporte: 1 contenedor marítimo	
		VENTAJAS				
		Las medidas de la máquina son personalizables según proyecto				
IMÁGENES						
						
LOGO		EQUIPOS COMPLEMENTARIOS				
		HORMIGONERA Y BOMBA				
						

IMPRESORA COBOD BOD 2						
EMPRESA	REFERENCIA	MEDIDAS MÁXIMAS DE IMPRESIÓN		VEL. MÁXIMA DE IMPRESIÓN	FLUJO MÁX. DE MATERIAL	
COBOD	BOD 2	Sin límite	14.6m	8 lm + bases	1 m/s	7.2 m³/h
TEMPERATURA RECOMENDADA		SOFTWARE		CONEXIÓN		INTERFAZ
Entre 5 - 35°C		Interfaz de control web Soft-NA y COBOD		Wi-Fi o LAN		Operadores (3 o 4 Recomendados)
		Cliente web (a través de navegadores como Chrome, Safari)		1 de impresora, 1 de material y ayudante de operador de material (+ ayudantes prácticos adicionales)		ARCHIVO STL G-CODE
						Se convierte un archivo de diseño STL en un archivo de control para la impresora 3D. Este archivo está compuesto por el denominado G-Code, un lenguaje de programación que permite a la máquina entender qué comandos debe seguir para fabricar la pieza final
ESTRUCTURA		PRECIO 2020		IMÁGENES		
Se compone de una serie de módulos en los ejes x, y y z que se aceptan de acuerdo a la necesidad de cada proyecto		180.000 € sin IVA incluido \$661.557.600 según la tasa representativa promedio de enero 2020				

EQUIPOS COMPLEMENTARIOS			
La bomba suministra el material de hormigón utilizando una bomba de pistón hidráulica de 2 cilindros que es un sello de alta presión que se alterna con el pistón que se utiliza comúnmente para mover físicamente los fluidos y comprimir los gases.	Bomba de pistón para hormigón COBOD E	El silo se utiliza como almacén de cemento seco que se utiliza para producir hormigón imprimible en 3D. El silo se entrega completamente montado con una plataforma plegable.	SILO COBOD BIG BAG

MINI PLANTA DOSIFICADORA COBOD				
FOTO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	FUNCIÓN	EQUIPACIÓN
	Planta dosificadora especialmente diseñada para imprimir con concretos real en lugar de morteros de mezcla seca	Permite que el 99% del concreto de impresión pueda basarse en materias primas locales	Permite un control mucho mejor del material para adaptarse a diversos climas y velocidades de impresión. La solución de mezcla de materiales permite ajustes detallados de los parámetros del material para garantizar una excelente calidad del material de impresión 3D.	<ul style="list-style-type: none"> Bomba hidráulica de pistón de hormigón COBOD Big Bag Silo

Nota: Adaptación propia.

La herramienta principal para la realización de proyectos Esta debe tener movimiento en los tres ejes lo convierte en una mejora con respecto al modelo BOD 2 anterior. Sus dimensionado en x, z e y. 400 kg es el peso de carga máximo posible. por un adicional, por otro lado, permite la demarcación de áreas para mostrar a los empleados exactamente, qué posiciones tendrá la estructura antes de la impresión; esto es muy útil para diseñadores de interiores.

5.10 Transporte

Enviar una impresora 3D para hormigón de un país a otro implica varios aspectos logísticos para garantizar una entrega segura y exitosa. Este proceso debe prestar atención al embalaje, método de envío, documentación aduanera, restricciones de envío, seguro,

seguimiento e información de la dirección de envío. Si sigue estas pautas, puede reducir el riesgo de daños y garantizar un proceso de envío sin problemas.

Se sugiere la impresora 3D a gran escala denominada BOD 2 ya que hasta el momento es la más efectiva y flexible con la materialidad necesaria para la deposición de los muros de impresión 3D. Este. El hecho de que tenga movimiento en los tres ejes lo convierte en una mejora con respecto al modelo BOD 1 anterior. Dimensionado en x, z e y. 400 kg es el peso de carga máximo posible. por un adicional. Por otro lado, permite la demarcación de áreas para mostrar a los empleados exactamente qué. posiciones en las que estará la estructura antes de la impresión; esto es muy útil.

Figura 51

Cotización

	COTIZACIÓN IMPORTACIÓN	CÓDIGO
		VERSIÓN
		FECHA

Bucaramanga, octubre 04 de 2023

Señor(es):
GEILY BLANCO
 Ciudad

Ref. Cotización de Importación marítima desde Miami - USA

De acuerdo a su amable solicitud con la presente nos permitimos poner a su consideración las tarifas para su respectiva revisión, las cuales estamos seguros serán favorables a sus intereses.

Puerto de Origen	Miami	
Puerto de Destino	Cartagena	
Incoterms	CIF Cartagena	
Descripción de la mercancía	Impresora 3D	
Valor de la Mercancía	EUR 500.000.00 (USD 529.450.00)	
Partida Arancelaria	84.43.32.90.00	
Volumen de la carga	65 m3	
Peso bruto	15.000 kls.	
Tipo de despacho	1 x 40" HQ	
Tasa de Cambio	Dólar a Peso	\$ 4.085,57
	Peso a Dólar	\$ 3.900,00

TERAMITES DE ADUANA PUERTO DE CARTAGENA

CONCEPTO	VALOR
Intermediación Aduanera	COP 8.957.902
Declaración de Importación	69.710
Declaración de Valor	69.710
Gastos Operativos	245.207
Acompañamiento pre Inspeccion FCL	250.000
Incorporación Siglo XXI	87.000
Acompañamiento Inspeccion Dian FCL	320.000
Gastos financieros	0
DRFI ICA	0
Certificado fitosanitario ICA	0
Registro de importación	0
Subtotal	COP 9.999.529
Iva 19%	COP 1.899.911
TOTAL TRAMITES DE ADUANA	COP 11.899.440

SEGURO INTERNACIONAL PARA TRANSPORTE MARITIMO

SEGURO INTERNACIONAL	TOTAL
Seguro 0,5% sobre el valor declarado con una mínima de USD 150.00	USD 2.647,25
TOTAL SEGURO INTERNACIONAL	USD 2.647,25

FLETE MARITIMO INTERNACIONAL

PUERTO DE ORIGEN	PUERTO DE DESTINO	1 x 40" HQ
Miami	Cartagena	USD 2.922,00
TOTAL FLETE INTERNACIONAL		USD 2.922,00
Tiempo en Tránsito:		8 días
Frecuencia:		Semanal
Exoneración deposito en Cartagena		10 días libres
Vigencia:		Octubre 31 de 2023

RECARGOS EN DESTINO

CONCEPTO	VALOR
BL	USD 85,00
Gastos en Destino Fijos	USD 480,00
TOTAL RECARGOS EN DESTINO	USD 565,00

MANEJOS PORTUARIOS 1 XC 40" HQ

CONCEPTO	VALOR
Manejos portuarios (1 Cont. x 40" HQ)	COP 4.800.000
TOTAL MANEJOS PORTUARIOS	COP 4.800.000

Equivalencia	USD 1,05890
--------------	-------------

TRIBUTOS ADUANEROS

CONCEPTO	VALOR		
Valor FOB	USD 529.450,00		
Valor del Flete internacional	USD 2.922,00		
Valor del Seguro Internacional	USD 2.647,25		
Total CIP en USD	USD 535.019,25		
T.R.M.	USD 4.085,57		
Total CIP en COP	COP 2.185.858.597		
CONCEPTO		VALOR	
Arancel	COP 2.185.858.597	0%	COP 0
Iva	COP 2.185.858.597	19%	COP 415.313.133
TOTAL TRIBUTOS ADUANEROS			COP 415.313.133

LIQUIDACION

CONCEPTO	VALOR EN COP	VALOR EN USD
Trámites Aduaneros	\$ 11.899.440	
Manejos Portuarios	\$ 4.800.000	
Transporte internacional	\$ 11.938.036	USD 2.922,00
Gastos de manejo en destino	\$ 2.308.347	USD 565,00
Seguro internacional	\$ 10.815.525	USD 2.647,25
Tributos Aduaneros	\$ 415.313.133	
TOTAL COSTOS DE IMPORTACION	\$ 457.074.481	

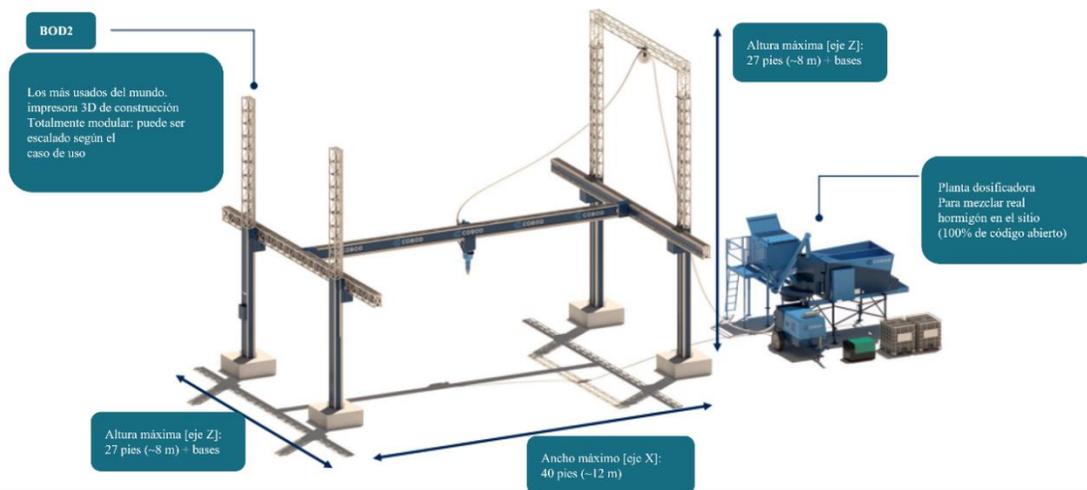
HENRY CALDERON SANCHEZ
Director de Operaciones
ALLTRANS LTDA
E-mail: operaciones@alltransltda.com
Celular: (57) 310 7745794

Carretera 24 No. 38 - 40 B. Bolívar PBX: (57) (7) 634 4424 FAX: (57) (7) 680-2961E-mail: gerencia@alltransltda.com Web
www.alltransltda.com Bucaramanga - Santander - Colombia

Nota: Adaptado de Cotización de Importación marítima desde Miami – USA a Colombia - empresa ALLTRANS LTDA

Figura 52

Proceso de impresión



11

Nota: Adaptado de COBOD Company Presentation General

5.11 Materiales

En la construcción tradicional se enfatiza en este caso en el proceso de mampostería ya que esta es la que más se remplazada por el método de impresión 3D, dependiendo de los acabados que entregue la impresión y de lo que se desee entregar otras de las actividades que se pueden llegar a remplazar otras actividades como los son frisos, estuco y pintura, pero en este caso se mantendrán como en una construcción tradicional.

La construcción de muros de mampostería y demás actividades requieren un proceso cuidadoso que incluye la selección adecuada de materiales, preparación de mortero, alineación y colocación de elementos de mampostería y ejecución adecuada de las juntas para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura del muro y su respectivo acabado de friso, estuco y pintura. Se realizan unos Análisis de precios unitarios en donde se mostrarán los materiales y cantidades por 1m² de la construcción tradicional, con diferentes tipos de ladrillos que se utilizan actualmente en construcción.

Tabla 17

Muro portante de mampostería reforzada

OBRA	Descripción	UNIDAD m2	CANTIDAD	1,00
CAPITULO	Muro portante de mampostería reforzada, de bloque de concreto.			
ACTIVIDAD	Muro portante de 15 cm de espesor de mampostería reforzada de bloque de concreto, liso estándar, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm ²), para revestir, con juntas horizontales y verticales de 10 mm de espesor, junta rehundida, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 300 kg/m ² de cemento, color gris, dosificación 1:5, suministrado en sacos, con piezas especiales tales como medios bloques, bloques de esquina y bloques en "U" en formación de zunchos horizontales y dinteles, reforzado con mortero de relleno, f'c=100 kg/cm ² (10 MPa), clase de exposición FO SO PO CO, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, manejabilidad fluida, preparado en obra, fundido con medios manuales, volumen 0,015 m ³ /m ² , en dinteles, zunchos horizontales y zunchos verticales; y acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), cuantía 0,6 kg/m ² ; armadura horizontal prefabricada en las juntas de acero galvanizado en caliente con recubrimiento de resina epoxi, de 3,7 mm de diámetro y de 75 mm de anchura, rendimiento 2,45 m/m ² .			
Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
MATERIALES				
Ud	Bloque de concreto, liso estándar, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm ²), densidad 1200 kg/m ³ , para revestir.	11,256	\$ 1.781,14	\$ 20.049
Ud	Medio bloque de concreto, liso estándar, color gris, 20x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm ²), densidad 1200 kg/m ³ , para revestir.	0,473	\$ 1.666,97	\$ 788,48
Ud	Bloque de esquina de concreto, liso estándar, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm ²), densidad 1200 kg/m ³ , para revestir.	0,494	\$ 4.224,51	\$ 2.086,91
Ud	Bloque en "U" de concreto, liso, color gris, 40x20x15 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm ²), para revestir.	0,924	\$ 3.333,93	\$ 3.080,55
kg	Acero en barras corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), de varios diámetros, según NTC 2289 y ASTM A 706.	0,630	\$ 2.009,56	\$ 1.266,02
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,015	\$ 3.130,12	\$ 46,95
m	Armadura horizontal prefabricada en las juntas de acero galvanizado en caliente con recubrimiento de resina epoxi, de 3,7 mm de diámetro y 75 mm de anchura, con dispositivos de separación, geometría diseñada para permitir el solape y sistema de autocontrol del operario (SAO).	2,450	\$ 5.120,78	\$ 12.545,91
kg	Cemento gris en sacos.	6,300	\$ 461,18	\$ 2.905,43
m ³	Agua.	0,008	\$ 3.130,12	\$ 25,04
m ³	Arena cribada.	0,009	\$ 74.278,70	\$ 668,51
m ³	Agregado grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12,5 mm.	0,015	\$ 53.768,20	\$ 806,52
t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0,017	\$ 43.129,60	\$ 733,20
			SUBTOTAL DE MATERIALES:	\$ 45.002
EQUIPO				
h	Concreteira eléctrica con una capacidad de amasado de 160 l.	0,017	\$ 8427,18	\$ 143,26
			SUBTOTAL EQUIPO:	\$ 143,26
MANO DE OBRA				
h	Oficial 1º armador de concreto.	0,132	\$ 24.323,90	\$ 3.210,75
h	Ayudante armador de concreto.	0,132	\$ 18.180,20	\$ 2.399,79
			SUBTOTAL MANO DE OBRA:	\$ 5.611
Herramienta menor				
%	Herramienta menor	2,000	\$ 50755,83	\$ 1.015,12
			COSTOS DIRECTOS (1+2+3+4):	\$ 51.771

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.*Muro de mampostería*

OBRA		UNIDAD m2	CANTIDAD	1,00
CAPITULO	Muro mampostería H10			
ACTIVIDAD	ladrillo de 10 cm de espesor, 30 x 20 x 10 cm, con juntas horizontales y verticales de 10 mm de espesor, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ² de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos.			
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
MATERIALES				
Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 30 x 20 x 10 cm,	18,000	\$ 1.243	\$ 22.374
m ³	Agua.	0,004	\$ 3.130	\$ 12,52
t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0,014	\$ 43.130	\$ 603,81
kg	Cemento gris en sacos.	2,117	\$ 461,18	\$ 976,32
SUBTOTAL MATERIALES:				\$ 23.966
EQUIPO				
h	Concreteira eléctrica con una capacidad de amasado de 160 l.	0,006	\$ 8.427,18	\$ 50,56
SUBTOTAL EQUIPO:				\$ 50,56
MANO DE OBRA				
h	Oficial 1ª obra gris.	0,366	\$ 23.385	\$ 8.559
h	Peón de obra gris.	0,278	\$ 16.839	\$ 4.681
SUBTOTAL MANO DE OBRA:				\$ 13.240
HERRAMIENTA MENOR				
%	Herramienta menor	3,000	13290,42	398,71
COSTOS DIRECTOS (1+2+3+4):				\$ 37.655

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19*Muro de mampostería H 15*

OBRA		UNIDAD m ²	CANTIDAD	1,00
------	--	--------------------------	----------	------

CAPITULO **Muro mampostería H15**

ACTIVIDAD ladrillo de 10 cm de espesor, 15x20x40 cm, con juntas horizontales y verticales de 10 mm de espesor, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
MATERIALES				
Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 15x20x40	12,5	\$ 1.100	\$ 13.750
m ³	Agua.	0,004	\$ 3.130	\$ 12,52
t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0,014	\$ 43.130	\$ 603,8
kg	Cemento gris en sacos.	2,117	\$ 461,18	\$ 976,32
SUBTOTAL MATERIALES:				\$ 15.343
EQUIPO				
h	Concretera eléctrica con una capacidad de amasado de 160 l.	0,006	\$ 8.427	\$ 50,56
SUBTOTAL EQUIPO:				\$ 50,56
MANO DE OBRA				
h	Oficial 1ª obra gris.	0,366	\$ 23.385	\$ 8.559
h	Peón de obra gris.	0,278	\$ 16.839	\$ 4.681
SUBTOTAL MANO DE OBRA:				\$ 13.240
HERRAMIENTA MENOR				
%	Herramienta menor	3,000	13290,42	398,71
COSTOS DIRECTOS (1+2+3+4):				\$ 29.032

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tomando como estudio que se construirá una casa de 77 m² y que en lo único que cambia de su construcción es sus muros se muestran las comparaciones de materiales y precios de los dos casos, en construcción tradicional y en impresión 3D.

Tabla 20

Muro de mampostería H15

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	V/R UNITARIO	V/R TOTAL
8	MUROS				
1	Muro de ladrillo de 15 cm de espesor, 15x20x40 cm, con juntas horizontales y verticales de 10 mm de espesor, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m ³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos.	M2	236,52	\$29,030	\$6.866,18
Total				\$29,030	\$6.866,18

Nota: Elaboración propia.

Para la construcción tradicional de una vivienda en mampostería se requieren 253.52m² que tienen un valor de \$6.866.18. esto nos servirá para poder llegar a determinar que tanto es su viabilidad, en comparación con la impresión 3D.

Tabla 21

Total, de una construcción de 77 m² en mampostería

Total, de presupuesto		
CAPITULOS	SISTEMA TRADICIONAL EN MAMPOSTERIA	VALOR TOTAL
1	Preliminares	\$ 1.621.358,00
2	Localización y replanteo	\$ 770.814,00
3	Cimentación	\$ 34.134.471,00
4	Estructura en concreto	\$ 17.378.185,00
5, 6 7	Instalaciones de redes	\$ 10.951.024,00
8	Muros	\$ 6.866.180,00
9,1	Bases, piso y enchapes y pintura	\$ 21.143.781,00
11,12,13,14	Cubiertas y cielo rasos y carpintería	\$ 26.000.825,00
TOTAL		\$ 118,866,638

Nota: Elaboración propia.

5.12 Material de impresión 3D

Imprimir con concreto real o morteros de mezcla seco

Concreto real (por ejemplo, COBOD + CEMEX D-fab)

Reduce el costo entre un 80 y un 90 % en comparación con los morteros de mezcla seca.

Iguala o supera la resistencia de los morteros de mezcla seca real.

El hormigón es fundamentalmente más fuerte al mismo tiempo que el cemento.

Contenido) Permite materiales de origen local 99%: fuente cemento, arena, grava localmente.

Aumenta el control del material según el clima o acomodar diferentes velocidades de impresión Mejora la sostenibilidad a través de un menor contenido de cemento,

reducir la huella de CO2 Agrega flexibilidad para diseñar y probar sus propios materiales.

5.14 Morteros de mezcla seca

Simplifica la impresión (simplemente agregue agua e imprima), ideal para casas de demostración, disminuye un poco la inversión inicial en equipos. en comparación con la planta por lotes in situ, Mejora la estética a través de una superficie más suave.

Las ventajas en el material usado por estas impresoras se ven reflejadas en el tiempo de fraguado ajustable: el hormigón utilizado en las impresoras 3D tiene un tiempo de fraguado ajustable. Como resultado, es más sencillo construir estructuras más complejas sin que el concreto se asiente o se desplome porque el material puede mantener su forma impresa antes de volverse resistente basado en las especificaciones de la máquina requerida y los costos.

Se muestran las especificaciones técnicas de la maquina y el concreto B-FAD, usado por la impresora BOD2.

Figura 53

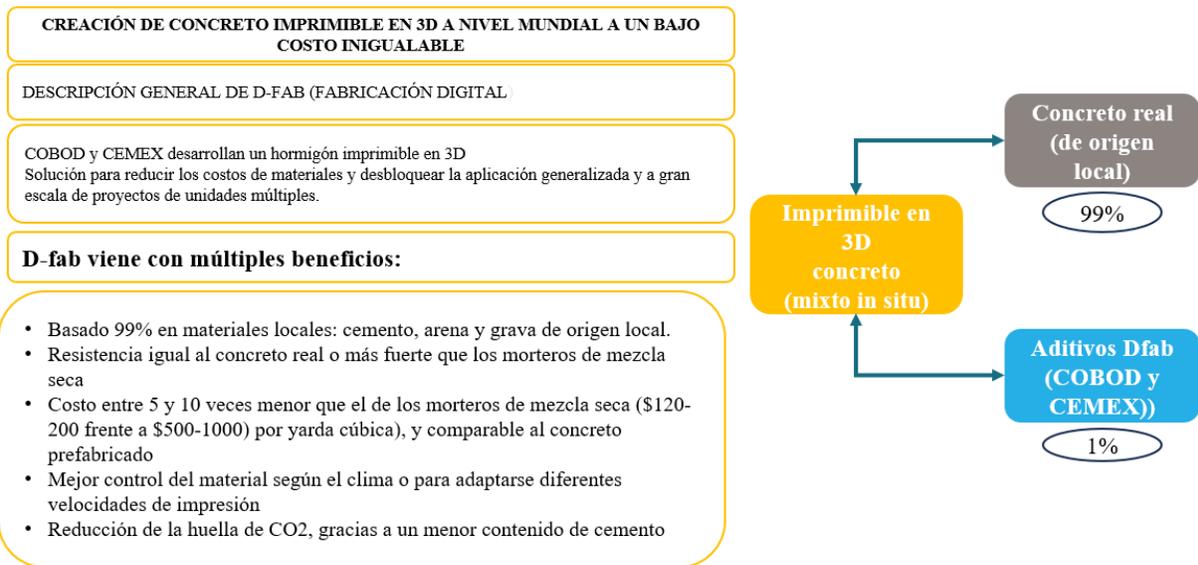
Hormigón y morteros



Nota: Adaptado de: *COBOD Company Presentation General*

Figura 54

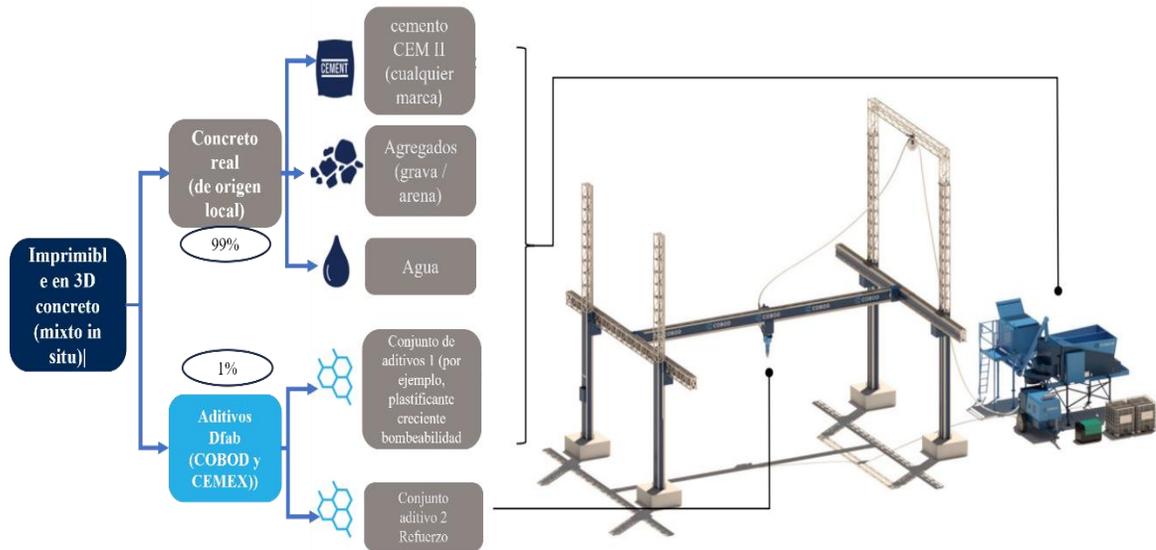
Creación de concreto



Nota: Adaptado de COBOD Company Presentation General

Figura 55

Impresión de concreto en 3D



Nota: Adaptado de: *COBOD Company Presentation General*

Tabla 22

Características y beneficios del concreto y aditivos D.FAB

CONCRETO D. FAB					
EMPRESA (S)	ADITIVOS		PRIMER EDIFICIO IMPRESO CON CONCRETO REAL		 
	EN PLANTA DOSIFICADORA	EN LA UNIDAD DE EMPUJE	CONCRETO USADO	COSTE DEL HORMIGÓN	
CEMEX - COBOD	CONCRETO FLUIDO Y FÁCIL DE BOMBLEAR	ACELERA EL CURADO Y HACE POSIBLE QUE EL CONCRETO TOMA FORMA INSTANTÁNEAMENTE Y SE PUEDA CONSTRUIR	12 M ³ DE HORMIGÓN DE 80 €/M ³ 1 PARTÍCULAS DE HASTA 10MM (GRAVA)	REDUCCIÓN DEL COSTO DEL CONCRETO PARA IMPRESIÓN 3D DE 700-900 €/M ³ A 60/90 €/M ³ (90%)	
VENTAJAS					
<p>“LA SOLUCIÓN SOLO REQUIERE EL ABASTECIMIENTO CENTRAL DE MENOS DEL 1 % DE LA MEZCLA DE CONCRETO, MIENTRAS QUE MÁS DEL 99 % DEL CONCRETO PUEDE BASARSE EN MATERIAS PRIMAS LOCALES DISPONIBLES, INCLUIDO EL CEMENTO, QUE PUEDE PROVENIR DE CUALQUIER FABRICANTE DE CEMENTO, LO QUE GENERA AHORROS DE COSTOS MUY SIGNIFICATIVOS EN COMPARACIÓN CON LOS MORTEROS DE IMPRESIÓN 3D” – COBOD [LA REVOLUCIÓN DE HORMIGÓN IMPRESO EN 3D]</p>					

ADITIVOS UTILIZADOS EN CONCRETO D.FAB [COBOD CEMEX]			
NOMBRE	TIPO	EFFECTO EN EL CONCRETO	DOSIFICACIÓN
D.FAB 3D A.1.00	PLASTIFICANTE SUPERPLASTIFICANTE	PLASTIFICACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN	0,2 – 2,0 M.-%
D.FAB 3D B.1.00	REFUERZO	QUÍMICO ESPECIAL QUE MODIFICA LA CONSISTENCIA [RIGIDIZANTE, ESTABILIZANTE Y CAMBIO DE VISCOSIDAD]	0,1 - 4,0 M.-%
ISOXEL 5450	ADITIVO ACELERADOR DEL FRAGUADO	ACELERADOR DEL FRAGUADO A BASE DE SALES INORGÁNICAS (LIBRE DE CLORUROS) AUMENTA RESISTENCIAS INICIALES	0,2– 3,0 M.-% (ÓPTIMA: 2,2)
ISOXEL 899	ADITIVO ACELERADOR DE ENDURECIMIENTO	ADITIVO ACELERADOR DEL ENDURECIMIENTO A BASE DE SALES INORGÁNICAS AUMENTA RESISTENCIAS INICIALES	0,2– 5,0 M.-%

Nota: Elaboración propia.

Utilizando hormigón 3D, mezclado en sitio, (con agregados de hasta 12 – 16 mm) si bien es necesario adquirir mayor equipamiento, o sea que la inversión es mayor, el costo de construcción será ostensiblemente menor. Con un precio de material rondando los 150 - 200 euros por m³.

La resistencia de la compresión de esta fórmula se aprobó a 52mpa(6500psi) principalmente por el contenido relativamente alto de cemento. En este proyecto el concreto, el 23% de la materia se sustituyó por tejas recicladas rotas que agregas funciones de flujo al sistema y muestre materiales reciclados en 3DCP. Sin embargo, se puede reemplazar fácilmente con grava de tamaño de grano similar.

Tabla 23

Mezcla Concreto 52 MPa = por 1m³

Mezcla Concreto 52 Mpa				
Material	Cantidad(kg)	Precio EUR	Precio COP	Peso porcentaje
Cemento	322,11	73,29	\$ 314,707	32%
Arena 0-2mm	184,21	4,2	\$ 18,035	18%
grava 0-4mm (0-8mm)	184,21	4,5	\$ 19,323	18%
Tejas recicladas 0-4mm (0-8mm)	230,53	3,71	\$ 15,931	23%
Agua	87,37	0,44	\$ 1,889	9%
superplastificante	2,11	1,35	\$ 5,797	0%
fibra agrietada	1,05	7,33	\$ 31,475	0%
TOTAL	1011,59	94,82	\$ 407,157	100%

Nota: Adaptado de: *Dosificación para la mezcla cementicia de la impresora de concreto BOD2.*

Adaptado de «COBOD», por COBOD, 2020.

Como se puede ver, se quiere estimar el precio de una receta específica que la empresa COBOD utiliza basándose en sus especificaciones técnicas. Se acomoda como dice la fórmula y ya que la máquina nos permite usar cemento local para ser adaptado con más materiales y así formar el material de impresión, se especifica la cantidad y los precios por 1m³. tiene un valor aproximado de \$ 407.157 COP por m³. Por otra parte, la impresora puede extrudir hasta 1.4m³ de concreto por hora siendo equivalentes a la extrusión.

Tabla 24

Análisis de presión unitarios - muros impresos – (estructura) que corresponden a una vivienda de 77m²

ITEM	UND	CANT.	V/R UNITARIO	V/R TOTAL
8	MUROS IMPRESOS – (ESTRUCTURA)			
Muro de impresión 3D Cemento, Arena 0-2mm, grava 0-4mm (0-8mm), Tejas recicladas, 0-4mm (0-8mm), Agua, superplastificante, fibra agrietada	M3	30,21	\$ 407,157	\$ 12.300.213
Total			\$ 861.248	\$ 12.300.213

Nota: Elaboración propia.

Tabla 25

Total, de presupuesto de una vivienda de 77m2 en impresión 3D

Total, de presupuesto		
CAPITULOS	SISTEMA 3D	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES	\$ 1.621.358,00
2	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	\$ 770.814,00
3	CIMENTACIÓN	\$ 34.134.471,00
4	ESTRUCTURA EN CONCRETO	\$ 17.378.185,00
5, 6 7	INSTALACIONES DE REDES	\$ 10.951.024,00
8	MUROS	\$ 12.300,213
9,1	BASES, PISO Y ENCHAPES Y PINTURA	\$ 21.143.781,00
11,12,13,14	CUBIERTAS Y CIELO RASOS Y CARPINTERÍA	\$ 26.000.825,00
TOTAL, SIN IMPRESORA		\$ 112.012.758
15	COMPRA DE LA IMPRESORA Y MAQUINAS DE CONCRETO	\$ 2.151.000.000,00
TOTAL, CON IMPRESORA Y training del personal Y MAQUINA DE CONCRETO		\$ 2.263.012.758

Nota: Elaboración propia.

Con este análisis se puede determinar que la construcción de una casa de 77 m2 en métodos tradicionales de mampostería tiene un valor de \$ 118,866,638 y la misma casa de 77 m2 en muros de impresión 3D tiene un valor de 112.012.758.

Para el análisis de costo y tiempo, se elabora un flujo de caja para ver el retorno de la inversión para la construcción de las viviendas para el de impresión 3D.

Tabla 26

Flujo de caja impresión 3D

área de lote de vivienda	10,000 m2
Nro. de pisos	
área construida de vivienda	77,2 m2
No de viviendas	10
TRM	4.085
Valor maquinaria	€ 500.000,00

Inversión inicial	
Inversión impresora, equipos añadidos y training del personal	\$ 2.042.500.000
Costos de importación	\$ 457.074.481
Terreno	\$ 750.000.000
Estudios, proyectos y licencias	\$ 5.932.180
	\$ 3.255.506.661

		1	2	3
	Costos de fabricación			
	Costo de construcción (materiales, mano de obra y estructuras necesarias para la fabricación)	\$ 1.120.127.580	\$ 1.120.127.580	\$ 1.120.127.580
	Gastos de administración y financieros			
	Auxiliares contables (2)	\$ 47.578.811	\$ 47.578.811	\$ 47.578.811
	Profesional financiero y contable (1)	\$ 48.202.374	\$ 48.202.374	\$ 48.202.374
	Profesional administrativo (1)	\$ 44.631.828	\$ 44.631.828	\$ 44.631.828
	Gastos de mantenimiento de impresora			
	Profesional de mantenimiento (1)	\$ 41.061.281,72	\$ 41.061.281,72	\$ 41.061.281,72
		\$ 1.301.601.874	\$ 1.301.601.874	\$ 1.301.601.874
	Cantidad de viviendas	10	10	10
	Venta de propiedad	\$ 2.620.416.362	\$ 2.620.416.362	\$ 2.620.416.362
	Margen bruto (Precio-costo)	50%	50%	50%
	-\$ 3.255.506.661	\$ 1.318.814.487	\$ 1.318.814.487	\$ 1.318.814.487
Saldo actualizado 5%	-\$ 3.255.506.661	\$ 1.256.013.797	\$ 1.196.203.617	\$ 1.139.241.540
Saldo actualizado acumulado	-\$ 3.255.506.661	-\$ 1.999.492.864	-\$ 803.289.247	\$ 335.952.293
	COK	5%		
	VNA	\$ 3.591.458.954		
	VAN	\$ 335.952.293		
	TIR	10,4%		
	PR	2,71		

Nota: Elaboración propia.

Se tiene una inversión inicial \$ 3.361.506.661 y se plantea construir 10 casas en cada periodo el tiempo de estos periodos será de 13 meses cada uno y se recogerá la utilidad en los 3 periodos, se utiliza una tasa de actualización del 5% que está en el promedio utilizado en la construcción y así damos con el saldo positivo en el periodo 3 ya teniendo un valor positivo, la

tasa interna de retorno nos da en 10,4% mayor a la tasa de actualización lo que nos indica que es una buena inversión.

COBOD es seleccionado como proveedor de la impresora 3D por ser la más eficiente en el mercado actual, se podría estar considerando a CEMEX y HOLCIM como proveedor de concreto, estas dos empresas basándonos en que estas dos empresas ya trabajan con las máquinas de impresión 3D en otros países, teniendo en cuenta la planta de concreto con la que trabaja la impresora BOD2, permite realizar el concreto en sitio y el cemento puede ser de uso local, el valor del m³ de concreto puede cambiar. Estas empresas proveedoras de cemento cuentan con plantas en Colombia que podrían distribuir el concreto, Siendo CEMEX la empresa con la planta más cerca en Bucaramanga y dejando a HOLCIM como una empresa de respaldo en caso de que se requiera esta cuenta con que su planta de concreto más cercana está en Tunja.

5.15 Programación

Se requiere la coordinación de una serie de componentes esenciales, incluidas herramientas, suministros y mano de obra, al planificar una construcción de impresión 3D.

Tabla 27

Programación y tiempos de ejecución de construcción tradicional mampostería y sistema 3D

Tiempos en promedio de ejecución de obra				
CAPITULOS	SISTEMA APORTICADO	TIEMPO	SISTEMA 3D	TIEMPO
1	Preliminares	De 4 días, divididos en 2 días para descapote, un día para armado de cercas y otro para las redes provisionales	1	De 4 días, divididos en 2 días para descapote, un día para armado de cercas y otro para las redes provisionales
2	Localización y replanteo	Tiene una duración de 5 días.	2	Tiene una duración de 5 días.
3	Cimentación	Este capítulo puede tomar un tiempo de 13 a 16 días en ejecutarse.	3	Este capítulo puede tomar un tiempo de 13 a 16 días en ejecutarse.

4	Estructura en concreto	Este capítulo tomara un tiempo aproximado de 12 a 16 días	4	
5, 6 7	Instalaciones de redes	El tiempo aproximado para esta ejecución en sistema a porticado es de 29 días	5, 6 7	El tiempo estimado para pasar las redes de hidráulicas y eléctricas que van en los espacios de muros pueden tomar el mismo tiempo de la ejecución de muros ya que estas se ejecutan mientras se está imprimiendo.
8	Muros	Su tiempo de ejecución en mampostería tiene un promedio de 20 a 30 días	8	En impresión 3D su tiempo de ejecución es de 8 horas/70M2
9,1	Bases, piso y enchapes y pintura	Bases, piso y enchapes puede tomar un aproximado de 22 días	9,1	Bases, piso y enchapes puede tomar un aproximado de 22 días
		Impermeabilización fachada en Sika y pintura epóxica alta resistencia con catalizador puede llegar a tomar un tiempo de 16 días		Impermeabilización fachada en sika y pintura epoxica alta resistencia con catalizador puede llegar a tomar un tiempo de 16 días
11,12,13	Cubiertas y cielos rasos	Teja tipo Eternit + caballete (con estructura)	11,12,13	Teja tipo Eternit + caballete (con estructura)
		cielo raso drywall		cielo raso drywall
		(incluye pintura) puede tomar un tiempo aproximado de 18 días en ser ejecutado.		(incluye pintura) puede tomar un tiempo aproximado de 18 días en ser ejecutado
12,13	Carpintería metálica y madera	El tiempo aproximado de la instalación de carpinterías sería de 6 días para madera y 6 días para metálica	12 y 13	El tiempo aproximado de la instalación de carpinterías sería de 6 días para madera y 6 días para metálica
14	Equipos sanitarios	El tiempo aproximado de la instalación de equipos sanitarios es de 2 a 3 días	14	El tiempo aproximado de la instalación de equipos sanitarios es de 2 a 3 días
Una vivienda de en métodos tradicionales de 77 m2 puede tomar un tiempo de 90 días en promedio su construcción			Una vivienda de impresión 3D de 77 m2 puede tomar un tiempo de 39 días en promedio en su construcción	

Nota: Elaboración propia.

Imprevistos

Aunque utilizar esta tecnología para la construcción tiene muchos beneficios, también pueden surgir imprevistos o dificultades para tener en cuenta. Las siguientes son algunas posibles contingencias como en:

<p>Como resultado, puede haber necesidad de modificaciones de última hora o estructuras débiles o inestables.</p>
<p>Condiciones del terreno inesperadas: durante la excavación, es posible encontrarse con condiciones del terreno imprevistas, como rocas duras, suelo inestable o la presencia de agua subterránea, lo que podría requerir modificaciones en el proceso de construcción y causar retrasos. Con la impresión 3D estos retrasos podrían salvarse en tiempo con la rapidez de ejecución de impresión de los muros, pero eso depende del tiempo inicial.</p>
<p>Problemas de permisos y reglamentos: si se encuentran problemas con los permisos de construcción, inspecciones o violaciones de los códigos y reglamentos de construcción, pueden ocurrir demoras. Como en una obra de construcción tradicional en la impresión 3D también se podría ver afectada en cronograma por un retraso de algún permiso o falla algún reglamento.</p>
<p>Pueden ocurrir retrasos debido a problemas con la entrega de materiales, como demoras en la fabricación, escasez de existencias o errores en los pedidos. Para estos casos la impresora cuenta con dos empresas que cuentan con la disponibilidad de suministrarle el concreto, como método de solución se podría contactar a la segunda empresa, pero esto genera un cobro adicional por el imprevisto y posible rapidez con la se necesite del concreto para no retrasar la programación</p>
<p>Variaciones climáticas: las condiciones climáticas desfavorables, como períodos prolongados de lluvia, tormentas o nevadas, pueden impedir el progreso de la construcción y cambiar el cronograma. En la impresión 3D se recomienda siempre tratar de tener una protección de lluvias para evitar posibles retrasos por temas de mal clima, esto podría llegar a generar un costo adicional al presupuesto.</p>
<p>Los problemas con los contratistas y subcontratistas pueden generar demoras y disputas si no cumplen con los plazos, en el caso de la impresión 3D la mano de obra debe ser calificada y debidamente capacitada para cualquier requerimiento o imprevisto que se genere en cualquier proceso de la obra, esto permite que exista la posibilidad de no subcontratar a terceros para ejecutar algunas actividades.</p>
<p>Dificultades financieras para los inversionistas o retrasos en los desembolsos podrían causar problemas con el financiamiento del proyecto, lo que podría resultar en retrasos o incluso la suspensión de los trabajos. Si bien es cierto que al momento la impresión 3D no podría llegar a ser económica ya que en Colombia la sola impresora podría llegar a valer mil millones dependiendo del dólar, en el transcurso de una ejecución se deberá proyectar muy bien los presupuestos para evitar estos retrasos.</p>
<p>Condiciones del mercado: Las variaciones en el costo de la mano de obra o el precio de los materiales de construcción pueden tener un impacto en el presupuesto y el cronograma del proyecto. La impresión 3D también podría verse afectada por las condiciones del mercado en su presupuesto.</p>

Las fallas en la maquinaria, el equipo o los sistemas técnicos pueden ocasionar retrasos en la producción y requerir reparaciones o reemplazos imprevistos. Las fallas mecánicas podrían llegar a pasar por diferentes motivos por eso cada maquina debe tener un operador netamente capacitado para poder resolver este imprevisto, para evitar posibles problemas mecánicos la gran mayoría de las empresas realizan a sus máquinas cada seis meses un mantenimiento, se estima que el valor de este mantenimiento podría estar valiendo aproximadamente 10.000 € anuales.

Finalmente, cabe señalar que, con esta investigación basada en la impresión 3D como alternativa de vivienda para Bucaramanga se demuestra la poca posibilidad de construir vivienda social estratificada para los nivel 1 y 2 debido al alto costo de la inversión inicial. Sin embargo, está la viabilidad de implementar la tecnología 3D para los estratos 3 en adelante, contribuyendo a conseguirse más beneficios, que van desde la inversión inicial hasta la liberta del diseño. Esta conclusión se puede inferir a partir de los proyectos realizados a nivel internacional, que a la vez son referentes a la hora de reestructurar una paso a paso, lo que se requiere para la ejecución de un proyecto como estos en Bucaramanga.

El proyecto cumple con unos estándares viables para proyectos que no sean de vivienda social (VIS), al momento de construir como; el rendimiento en tiempos de ejecuciones de obra, dado que según los comparativos realizados se determina que el tiempo de elaboración de muros en una medida estándar de una vivienda mediana tiene un rendimiento de aproximadamente 70 m² en 40 días, a diferencia de los métodos tradicionales, los cuales pueden llegar a tener una durabilidad de 90 días según su respectivo proceso; en términos económicos sus costos dependen del cemento local y de como se quiera aplicar y la maquina ya que si es cierto que la maquina permite un uso de cemento local y se puede tener un ahorro, otras máquinas no y eso puede incrementar el costo de la obra, sin embargo, en términos de construcción de gran escala, los costos en materiales podrían bajar todo depende de la maquina y el proveedor del cemento.

En términos sociales, la construcción 3D espera mejorar la calidad de vida de los ciudadanos con un déficit habitacional de la ciudad de Bucaramanga contemplando que esta supla la necesidad de vivienda nueva en los proyectos que su inversión inicial lo permitan, ya que se presentaran unas mejores alternativas de habitabilidad gracias a la reducción de tiempos de espera en la entregas, los aplicativos sostenibles y ambientales, ya que los impactos de desechos de obra y la energía consumida en transportes serán muy mínimos y con un bajo impacto a medio ambiente y por último se espera brindar un nuevo método laboral, ya que al aplicar este tipo de construcción, la mano de obra que hoy en día conocemos, debe ser capacitada y se tendrá que adaptar un nuevo método de trabajo para los funcionarios y ejecutores de la obra.

Un aspecto importante a aclarar es el valor de la respectiva maquinaria pues su valor aproximado va desde los 1'500.000.000 a 2.042.500 millones de pesos colombianos sin embargo esta inversión se puede ver retribuida en un tiempo de 3 años y medio o la construcción de 38 viviendas, como se nombra anteriormente la reducción en tiempo, la ejecución de un proyecto así permitirá que la demanda sea más amplia, también se espera llegar a lugares menos concurridos como las áreas rurales, pues están también se verían beneficiadas por esta nueva metodología de construcción, y con esto desarrollara una construcción inclusiva en todos los aspectos sociales y económicos de Bucaramanga y alrededores, esperando que este sea un inicio para que en las demás ciudades se pueda plantear e implementar esta tecnología.

Conclusiones

El estudio realizado permite establecer una serie de ventajas y desventajas a la hora de implementar la impresión 3D en la construcción de viviendas, especialmente en la región de Bucaramanga, Santander

Algunas de sus ventajas tienen que ver con:

A lo largo del desarrollo del estudio, y a partir de los diferentes documentos y experiencias leídas sobre la aplicación de las impresiones 3D se pudieron determinar diversos aspectos relacionados con el rendimiento, los beneficios, la funcionalidad, la reducción de tiempos y los diversos productos que se pueden obtener, todos muy importantes para tenerlos en cuenta en la fabricación de viviendas en el Área Metropolitana de Bucaramanga, Santander.

La impresión 3D tiene grandes ventajas como la reducción de costos: La impresión 3D puede reducir significativamente los costos de mano de obra y materiales, ya que se requiere menos personal para la construcción y se pueden utilizar materiales específicos para la impresión, lo que reduce el desperdicio.

Otro gran ventaja está en la velocidad de construcción toda vez que la impresión 3D puede acelerar el proceso de construcción en comparación con métodos tradicionales, lo que permite la finalización más rápida de proyectos.

Igualmente, cabe señalar que la importancia de la personalización porque este tipo de impresión permite la creación de estructuras altamente personalizadas y complejas que serían difíciles o costosas de lograr mediante métodos convencionales.

En cuanto a las ventajas halladas en la flexibilidad de diseño se puede inferir que la tecnología de impresión 3D permite una mayor flexibilidad en el diseño arquitectónico, hecho que le facilita a los arquitectos y diseñadores explorar nuevas formas y conceptos.

Las ventajas encontradas en esta nueva tecnología con relación a las reparaciones y restauraciones son muy importantes porque se utilizan para reparar y restaurar estructuras existentes, lo que prolonga la vida útil de los edificios y reduce la necesidad de demoler y reconstruir.

Otras ventajas tienen que ver con los riesgos laborales y la sostenibilidad. Con respecto a los riesgos laborales es posible valorar como se reduce la exposición de los trabajadores a entornos peligrosos, por el hecho de que la impresión 3D puede disminuir los riesgos para la salud y la seguridad en la construcción. Y la sostenibilidad con la implementación de la impresión 3D apunta a la disminución de desperdicio de materiales y energía. Además, se pueden usar materiales más sostenibles como el hormigón de impresión 3D que utiliza menos cemento.

En cuanto al acceso a lugares remotos la impresión 3D puede utilizarse en ubicaciones remotas o de difícil acceso donde el transporte de materiales y equipos convencionales puede ser costoso y complicado.

También, esta tecnología aporta ventajas a la construcción en situaciones de emergencia beneficiando la capacidad de imprimir rápidamente refugios temporales y estructuras en situaciones de desastre o emergencia puede salvar vidas y proporcionar un alivio rápido.

Además, es posible determinar que la impresión 3D, aplicada en la construcción, fomenta la innovación y la investigación en nuevos materiales y técnicas de construcción, lo que puede llevar a avances significativos en la industria.

Acerca de sus desventajas:

Sin embargo, hay que reconocer algunas de sus desventajas relacionadas con las regulaciones y estándares en cuanto aún no existen regulaciones y estándares bien establecidos

para la construcción 3D, situación que puede dificultar la aprobación y la adopción de esta tecnología en muchos lugares.

Ahora bien, sobre los costos iniciales en la consecución de este tipo de impresoras y para el manejo de estas, cabe destacar que las inversiones pueden ser costosas. Esto se constituye en un obstáculo para las empresas o países con recursos limitados. Además, el mantenimiento y la reparación de estas impresoras requiere un trabajo y conocimientos especializados, aumentando los costos a lo largo del tiempo.

En cuanto a la falta de habilidades y capacitación, del estudio se concluye que la operación de impresoras 3D para la construcción requiere de habilidades especializadas que no están ampliamente disponibles y esta capacitación adecuada es esencial.

En la calidad de las superficies impresas y en la dependencia del clima, también se hallaron desventajas. Sobre la calidad de las superficies es necesario decir que a menudo no son tan suaves y uniformes como las producidas por métodos tradicionales, lo que puede requerir acabados adicionales. En relación con la dependencia de condiciones climáticas estas se vuelven adversas ante la presencia de lluvias o viento que afectan negativamente la calidad de la impresión y la seguridad del sitio.

Otra desventaja está en las limitaciones de diseño, aunque la impresión 3D permite una mayor flexibilidad en el diseño, también presenta ciertas limitaciones en términos de formas y tamaños que pueden ser difíciles de lograr.

En esencia:

Es necesario considerar que la fabricación aditiva tiene unos requerimientos, que van desde los sociales y ambientales, hasta los técnicos. Lo constructivo y técnico en cuanto involucra aspectos como concretos convencionales, geopolímeros y aditivos que se pueden aplicar en

determinados momentos, dependiendo del tipo de proyecto e impresora que se esté usando. Lo ambiental, porque está el uso de mezclas naturales, materiales reciclables, disminución de los desperdicios en obra.

Con relación a la relación costo/tiempo que afecta mano de obra, materiales, equipos, y programación es necesario aclarar que la máquina debe ser manejada y calibrada por personal capacitado.

Ahora bien, lo social se afecta positivamente porque es posible que esta nueva industria y tecnología se adapte a una producción más amena y respetuosa para el medio ambiente, ya que se vuelve más sencillo el desarrollo de diseños y prototipos y esto genera un ahorro en tiempos y materiales.

Otro aspecto, que se afecta, tiene que ver con lo estructural, por el tipo de fundición que se hace de los muros. El remplazo de una estructura convencional de muros de mampostería se remplaza por una nueva estructura, netamente, por muros en la que actúa el diseño para su resistencia.

Es fundamental señalar que los estudios, especialmente a nivel internacional, demuestran la aplicabilidad y viabilidad del uso de las impresiones 3D a la hora de construir viviendas de bajo costos y en corto tiempo. Pero, además, aportan otros beneficios que involucran el entorno, ya que disminuyen en un gran porcentaje la producción de residuos y permite implementar la mezcla de impresión 3D con elementos extraídos del suelo y materias primas locales y residuos industriales para su elaboración, hecho que ayuda a la reducción de costos y bajo contenido de CO₂.

Con esta novedosa tecnología la construcción se favorece porque en su implementación se pueden obtener: moldes de refuerzo, columnas, estructuras modulares; muros, vigas y hasta elementos decorativos para una vivienda, como las masetas y los mesones.

Su uso impacta positivamente la sostenibilidad de un proyecto y aumenta la productividad, reduce los costos, minimiza los tiempos de fabricación. Se puede reducir hasta en un 70% el tiempo y disminuye en un gran porcentaje la generación de residuos. Esta tecnología aporta muchas ventajas al campo de la construcción, sobre todo, a la solución del déficit de vivienda de regiones donde las familias viven en condiciones indignas.

Es esencial señalar que, si bien este proyecto está planteado para dar una solución de vivienda por el método VIS, que aplica en estratos 1 y 2, en este momento no se puede implementar, ya que los costos de la máquina son muy altos a la hora de adquirirla para la construcción de viviendas en el área Metropolitana de Bucaramanga. Sin embargo, puede ser viable para los demás tipos de vivienda, desde el estrato 3 en adelante, que podrían asumir estos altos costos. Se invita a contemplar la posibilidad de implementar la tecnología o habrá que esperar a que las condiciones y precios sean más asequibles.

El estudio técnico y económico presentado en el marco proyectual recoge las ventajas y desventajas en torno a los rendimientos, la mano de obra, los costos, transporte, los imprevistos, la aplicación y la programación sobre la impresión 3D. Con esta información se diseñó la guía prevista en el objetivo general para que sea referente para profesionales y grupos de interés de la industria de la construcción, aportando conocimientos sobre lo que se debe tener en cuenta para ejecutar un proyecto de impresión 3D, que contempla: el lugar y proceso de compra de la máquina, el tipo de concreto o materiales que deben usar, las normativas a las que se debe adaptar el proyecto y los valores económicos de la compra y de material usado.

Referencias

- A. O., Ojelabi, R. A., Omuh, I. O., y Tunji-Olayeni, P. F. (2019, August). 3D House Printing: A sustainable housing solution for Nigeria's housing needs. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1299, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Ahmed, G. H., Askandar, N. H., y Jumaa, G. B. (2022, September). A review of largescale 3DCP: Material characteristics, mix design, printing process, and reinforcement strategies. In *Structures* (Vol. 43, pp. 508-532). Elsevier
- Amerigo, M y Pérez-López, R. (2010). Ambientes residenciales. En J. I. Aragonés y M. Amerigo (Eds.). *Psicología Ambiental*. (3.ed. pp. 59-75). Madrid: Pirámide.
- Aspronea, Domenico, Auricchiob, Ferdinando, Mena, Constantino y Mercurib, Valentina (2018). Impresión 3D de elementos de hormigón armado: Tecnología y enfoque de diseño. En Revista *Construcción y materiales de construcción*.
- Baduge, SK, Navaratnam, S., Abu-Zidan, Y., McCormack, T., Nguyen, K., Mendis, P., ... y Aye, L. (2021, febrero). Mejora del rendimiento del hormigón fabricado con aditivos (impreso en 3D): una revisión del diseño de la mezcla de materiales, el procesamiento, la unión entre capas y los métodos de refuerzo. En *Estructuras* (Vol. 29, pp. 1597-1609). Elsevier.
- Campillo Mejías, M. (2017). Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón.
- Camarena, Chávez E. K, Rengifo Cuellar, N. L y De La Torre S, J R., (2022). Viabilidad de la Impresión 3D de concreto para la constructibilidad de viviendas sociales. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- DANE. (2021). Boletín Técnico. *Déficit Habitacional*.
- Chávez Camarena, E. K., & Rengifo Cuellar, N. L. (2022). Propuesta de guía técnica en base a la factibilidad técnica y económica de la tecnología de impresión 3D de concreto para mejorar la gestión de construcción de viviendas sociales en Lima Metropolitana para los sectores C y D.
- Díaz Rodríguez, C. A., & Rincón Ochoa, N. J. (2023). Análisis del impacto de la política pública de vivienda y Hábitat de Bucaramanga, buscando construir una ciudad sostenible, 2014-2022.
- Domínguez, I. A., Romero, L., Espinosa, M. M., & Domínguez, M. (2013). Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. *Revista de la construcción*, 12(2), 39-53.
- Furet, B., Poullain, P. y Garnier, S. (2019). Impresión 3D para la construcción basada en un muro complejo de espuma de polímero y hormigón. *Fabricación aditiva*, 28, 58-64.
- Ghafur H Ahmed, Nasih H Askandar, Ghazi B Jumaa
- García, L. P. (2014). La concepción de la vivienda y sus objetos. *Trabajo Final de Máster de Psicología Social, Universidad Complutense de Madrid. España*.
- Genatios, C. (2016). ¿Se entiende el problema de la vivienda? El déficit habitacional en discusión. *Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Ciudades Sostenibles*.
- Gil Gil, I. (2015). La impresión 3D y sus alcances en la arquitectura.
- Godínez, V. L. (2013). Métodos, técnicas e instrumentos de investigación. *Lima, Perú*.
- Hager, I., Golonka, A. y Putanowicz, R. (2016). La impresión 3D de edificios y componentes de construcción como el futuro de la construcción sostenible. *Ingeniería Procedia*, 151, 292-299.

- Hervás-Gómez, C., Román-Graván, P., Domínguez-González, M., & Reina-Parrado, M. (2020). Diseño e impresión en 3d de protectores de pantallas faciales por docentes universitarios para proteger al personal sanitario ante el Covid-19.
- Ma, G., Salman, NM, Wang, L. y Wang, F. (2020). Un mortero aditivo novedoso que aprovecha el curado interno para mejorar la unión entre capas del compuesto cementoso para la impresión 3D. *Construcción y materiales de construcción*, 244, 118305.
- Mechtcherine, V., Grafe, J., Nerella, VN, Spaniol, E., Hertel, M. y Füssel, U. (2018). Refuerzo de acero impreso en 3D para la construcción de hormigón digital: fabricación, propiedades mecánicas y comportamiento de adherencia. *Construcción y materiales de construcción*, 179, 125-137.
- Medina Hidalgo, S. R. (2021). Arquitectura del futuro. Las construcciones con impresora 3D.
- Panda, B., Paul, SC, Hui, LJ, Tay, YWD y Tan, MJ (2017). Fabricación aditiva de geopolímeros para un entorno construido sostenible. *Revista de producción más limpia*, 167, 281-288.
- Panda, B., Paul, SC y Tan, MJ (2017). Rendimiento mecánico anisotrópico de material de construcción sostenible reforzado con fibra impreso en 3D. *Cartas de materiales*, 209, 146-149.
- Peng, Y. y Unluer, C. (2022). Desarrollo de aglutinantes cementosos alternativos para aplicaciones de impresión 3D: una revisión crítica del progreso, las ventajas y los desafíos. *Compuestos Parte B: Ingeniería* 110492. Desarrollo de aglutinantes cementosos alternativos para aplicaciones de impresión 3D: una revisión crítica del progreso, las ventajas y los desafíos. *Compuestos Parte B: Ingeniería*, 110492.
- Pole, K. (2009). Diseño de metodologías mixtas. Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas.
- Saiz, A. (2022). Enfrentando el reto de la vivienda en América Latina.
- Silva, G., Ñañez, R., Zavaleta, D., Burgos, V., Kim, S., Ruiz, G., ... y Nakamatsu, J. (2022). Construcción aditiva ecológica: Análisis de la imprimibilidad de matrices en base tierra estabilizadas con gel de fécula de patata y fibras de sisal. *Construcción y Materiales de Construcción*, 347, 128556.
- Singh, P. y Sreerag, KS (diciembre de 2020). Fabricación Aditiva mediante Hormigón Digital por método de Extrusión y No Extrusión. En *Serie de conferencias IOP: Earth and Environmental Science* (Vol. 614, No. 1, p. 012069). Publicación IOP.
- Tobi, AM, Omar, SA, Yehia, Z., Al-Ojaili, S., Hashim, A. y Orhan, O. (marzo de 2018). Viabilidad de costos de una casa impresa en 3D en el Reino Unido. En *Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales* (Vol. 319, No. 1, p. 012061). Publicación IOP.
- Torres Remón, R. (2016). Diseño de hormigón para impresión en 3D
- Vargas, J. D. M. Análisis de la Implementación de la Impresión 3d en el sector de la construcción en Colombia aplicando la metodología “Design Thinking”.
- Zambrano Lozano, R. J. (2022). *Estudio de materiales de polímeros combinados impresos en 3D, para reemplazo de la armadura del hormigón armado* (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2022.).
- Zuo, Zibo, Jian Gong, Yulin Huang, Yijian Zhan, Ming Gong, and Lulu Zhang 2019 *Construction and Building Materials* 208 350-360.

Webgrafía

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/como-nace-la-impresion-3d-en-colombia/>

<https://cmyk-arq.es/construir-una-casa-cuanto-tiempo-se-tarda>

<https://fliphtml5.com/zgjog/tzeb/basic>

<https://blog.ganttpro.com/es/gerencia-administracion-de-proyectos-de-construccion/>

Anexo A: Guía Técnica Y Económica De La Impresión 3d Como Método Constructivo

Alternativo