

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Impresión 3D de concreto para la construcción de viviendas más
asequibles y eficientes en el área de San Antonio La Paz, El Progreso,
Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado
por Aníbal José Tenas Véliz para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Impresión 3D de concreto para la construcción de viviendas más
asequibles y eficientes en el área de San Antonio La Paz, El Progreso,
Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado
por Aníbal José Tenas Véliz para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

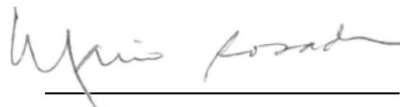
2025

V.ºB.º



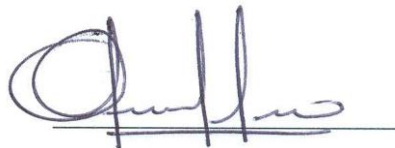
Ing. Hugo Enrique Pallais Beteta

Tribunal examinador:



Ing. Mario Enrique Rosada Orozco

Ing. Mario Enrique Rosada Orozco



Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos



Ing. Hugo Enrique Pallais Beteta

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 17 de junio de 2025

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE CUADROS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	5
A. Objetivo general	5
B. Objetivos específicos	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	6
A. Impresión 3D	6
B. Alternativa a la impresión 3d de concreto	7
C. Tecnificación.....	7
D. Usos para la impresión 3d de concreto	9
E. Aceptación de tecnología en la sociedad	12
F. Usos de la impresión 3D de concreto en diferentes continentes	13
G. San Antonio La Paz, El Progreso, Guatemala.....	17
V. METODOLOGÍA	35
A. Sujetos de estudio	35
B. Instrumentos.....	35
C. Procedimiento	35
D. Pruebas de laboratorio.....	37
E. Análisis de resultados	38
F. Discusión y conclusiones	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39

A.	Propiedades físicas del concreto con metodología de mampostería tradicional	39
B.	Propiedades físicas del concreto con metodología de impresión 3D	44
C.	Comparativo de costos entre la mampostería tradicional y la impresión 3D de concreto .	47
D.	Resultados de entrevistas sobre los beneficios y limitaciones de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Guatemala	54
E.	Adversidades climáticas y estratigráficas de la tecnología en el país.	61
F.	Técnicas de construcción utilizadas en el país	62
G.	Análisis de resultados	63
VII.	CONCLUSIONES	73
VIII.	RECOMENDACIONES	75
IX.	BIBLIOGRAFÍA	76
X.	ANEXOS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen que representa prefabricados como método de tecnificación	8
Figura 2. Proceso conceptual de construcción 3D.	11
Figura 3. Vivienda construida con tecnología de impresión 3D de concreto.	12
Figura 4. Mapa de ubicación de municipio de San Antonio La Paz, Guatemala.....	18
Figura 5. Plano de ubicación de San Antonio La Paz, Guatemala.....	20
Figura 6. Mercado de impresión de concreto 3D: tasa de crecimiento por región, 2022-2027.	28
Figura 7. Comparativa entre pedestal de concreto fundido e impreso en 3D.	30
Figura 8. Diagrama de calor de esfuerzos transmitidos a pedestal impreso en 3d.....	30
Figura 9. Foto realista del proceso de impresión de pedestal.	31
Figura 10. Pedestal impreso ya instalado en fundición.....	32
Figura 11. Armadura interna de pedestal impreso en 3D.....	33
Figura 12. Espécimen de concreto premezclado La Roca 3ksi.....	43
Figura 13. Espécimen de VELOSIT® RM 203.....	44
Figura 14. Prueba de flexión a espécimen impreso en 3D.....	47
Figura 15. Plano de vivienda propuesta para análisis de costos	49
Figura 16. Render 3D de vivienda propuesta para análisis de costos.	49
Figura 17. Render 3D con vista interna de la vivienda propuesta para análisis de costos.	50
Figura 18. Foto de el primer proyecto de vivienda hecho por Cementos Progreso.	60
Figura 19. Vista de composición interna de cámara de aire impresa en 3D.	61
Figura 20. Vista de interior de primer proyecto de vivienda hecho por Cementos Progreso	78
Figura 21. Primer prototipo de fundición de columna hecho por Cementos Progreso	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Indicadores de pobreza San Antonio La Paz, El Progreso, 2002, 2011, 2013	21
Cuadro 2. Clasificación del neopreno	42
Cuadro 3. Cotización de vivienda propuesta en mampostería para análisis de costos.....	51
Cuadro 4. Cotización de vivienda propuesta en impresión 3D para análisis de costos	52
Cuadro 5. Gráfica comparativa de tiempo y costos entre impresión 3D y mampostería	53

RESUMEN

Esta investigación analiza la aplicación de la tecnología de impresión 3D de concreto en el sector de la construcción de viviendas en Guatemala, específicamente en el municipio de San Antonio La Paz, El Progreso. La iniciativa surge ante la necesidad de encontrar soluciones constructivas más eficientes, sostenibles y accesibles, frente al déficit habitacional que afecta a buena parte de la población.

La impresión 3D de concreto representa una alternativa innovadora dentro de la construcción, basada en la fabricación aditiva mediante la extrusión de materiales capa por capa. Este proceso automatizado permite reducir el uso de recursos, optimizar tiempos de ejecución y flexibilizar el diseño arquitectónico, lo que la convierte en una herramienta potencial para responder a contextos donde la construcción tradicional resulta limitada o ineficiente.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque multidisciplinario que incluyó la revisión de literatura especializada, visitas técnicas, entrevistas con actores clave del sector y análisis del entorno físico y social del área de estudio. También se abordaron aspectos relacionados con la disponibilidad de materiales, condiciones del terreno, infraestructura local y marco normativo vigente.

Además, se examinó la percepción de los distintos actores involucrados, incluyendo profesionales del sector construcción y representantes de empresas proveedoras con el fin de evaluar la receptividad hacia esta tecnología en el país y sus posibles aplicaciones futuras.

ABSTRACT

This research analyzes the application of 3D concrete printing technology in the housing construction sector in Guatemala, specifically in the municipality of San Antonio La Paz, El Progreso. The initiative arises from the need to find more efficient, sustainable, and accessible construction solutions in response to the housing deficit affecting a significant portion of the population.

3D concrete printing represents an innovative alternative in the construction field, based on additive manufacturing through the layer-by-layer extrusion of materials. This automated process allows for reduced resource consumption, optimized execution times, and greater architectural flexibility, positioning it as a promising tool in contexts where traditional construction methods are limited or inefficient.

The research was developed through a multidisciplinary approach that included a review of specialized literature, technical site visits, and interviews with key stakeholders in the sector, and an analysis of the physical and social context of the study area. It also addressed aspects related to material availability, soil conditions, local infrastructure, and the current regulatory framework.

In addition, the study explored the perception of various actors involved, including construction professionals and representatives of supplier companies in order to assess the receptiveness to this technology in the country and its potential future applications.

I. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en Guatemala se encuentra ante una encrucijada compleja, determinada por múltiples factores que inciden de forma directa en su capacidad para satisfacer la creciente demanda habitacional. Entre dichos factores, se destacan el incremento sostenido en los costos de materiales, la escasez de mano de obra calificada y, especialmente, un déficit habitacional estructural que ha persistido durante décadas. Diversos informes técnicos elaborados por instituciones nacionales, como la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) y el Instituto Nacional de Estadística (INE), evidencian la magnitud del problema, identificando a la vivienda digna como una necesidad prioritaria no resuelta para una parte significativa de la población guatemalteca.

Frente a este panorama, la incorporación de tecnologías disruptivas en los procesos constructivos representa una oportunidad para transformar las dinámicas del sector. En este sentido, la impresión 3D de concreto ha demostrado, en diferentes contextos internacionales, su potencial para optimizar el tiempo de ejecución, reducir el desperdicio de materiales y minimizar la intervención de mano de obra intensiva. Esta tecnología, basada en el principio de fabricación aditiva, consiste en la extrusión controlada de una mezcla cementicia especialmente formulada, capa por capa, a partir de un modelo digital tridimensional. Estudios recientes han documentado avances significativos en esta técnica, aplicada ya en países como China, Países Bajos y México, con resultados positivos tanto en el ámbito técnico como económico (M. A., 2021; Cubero, 2022).

Si bien en Guatemala aún no se ha adoptado de forma generalizada este tipo de tecnología, empresas del sector privado —como Cementos Progreso— han iniciado procesos exploratorios que evidencian un interés creciente por su implementación. No obstante, subsisten importantes desafíos, entre ellos la ausencia de normativas específicas, la necesidad de validar técnicamente el comportamiento estructural del concreto impreso,

y el nivel de aceptación social que tendría esta innovación constructiva en entornos vulnerables.

La presente investigación se propone evaluar la viabilidad técnica, económica y social de la tecnología de impresión 3D de concreto como una alternativa para la construcción de viviendas en el municipio de San Antonio La Paz, El Progreso. Esta localidad ha sido seleccionada por sus características socioeconómicas, que la convierten en un entorno representativo de las condiciones que enfrentan muchas comunidades del país.

El estudio se fundamenta en una revisión crítica de la literatura científica y técnica, en el desarrollo de pruebas experimentales de laboratorio, en la comparación de sistemas constructivos y en la recolección de información cualitativa mediante entrevistas con profesionales del sector. El presente documento se estructura en siete capítulos: la formulación del problema y su justificación; los objetivos de la investigación; el marco teórico que sustenta la propuesta; la metodología empleada; la presentación de resultados; el análisis crítico de dichos resultados; y, finalmente, las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

II. JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción en Guatemala se encuentra en un momento crítico, enfrentando una serie de desafíos que han impactado negativamente en su productividad y capacidad de respuesta a la demanda de viviendas. La pandemia de COVID-19 ha generado escasez de mano de obra, interrupciones en la cadena de suministro y retrasos en los proyectos de construcción. Además, el país experimenta un déficit habitacional significativo, con una gran cantidad de familias que carecen de viviendas adecuadas y asequibles.

En este contexto, la implementación de impresoras 3D de concreto surge como una alternativa innovadora y prometedora para abordar estos desafíos. La tecnología de impresión 3D de concreto permite construir viviendas de manera más rápida, eficiente y rentable en comparación con los métodos tradicionales de construcción. Además, ofrece la posibilidad de utilizar materiales sostenibles y reducir el desperdicio de recursos.

El objetivo de esta tesis es realizar un análisis exhaustivo de la viabilidad y el impacto de la implementación de impresoras 3D de concreto en la construcción de viviendas en el área de San Antonio La Paz, El Progreso, Guatemala. Para lograrlo, se llevará a cabo una revisión de la literatura especializada, se realizará una visita técnica a varios puntos de la región y se recopilarán datos empíricos relevantes.

En primer lugar, se examinarán casos de éxito de impresión 3D de viviendas en otras partes del mundo, analizando los resultados obtenidos, los desafíos enfrentados y las lecciones aprendidas. Esto permitirá identificar las mejores prácticas y adaptarlas a las condiciones y necesidades específicas de la región de San Antonio La Paz, El Progreso.

En segundo lugar, se analizarán los aspectos técnicos relacionados con la implementación de las impresoras 3D de concreto en la región. Se investigará la disponibilidad de los recursos necesarios, como la infraestructura requerida, los materiales

de construcción y la energía eléctrica. Además, se evaluará la adaptabilidad de la tecnología a las condiciones climáticas y geológicas de la zona.

En tercer lugar, se examinarán los aspectos socioeconómicos y culturales relevantes para la implementación de la impresión 3D de concreto en la construcción de viviendas. Se considerará el impacto en la generación de empleo local, la formación de habilidades técnicas, la accesibilidad de viviendas asequibles para comunidades desfavorecidas y la aceptación de la tecnología por parte de los actores clave, como los profesionales de la construcción y los futuros residentes.

Además, se prestará especial atención a las regulaciones y normativas existentes en el sector de la construcción en Guatemala. Se investigarán los requisitos legales y las posibles barreras regulatorias que podrían afectar la implementación de las impresoras 3D de concreto. Esto permitirá identificar las áreas en las que se requieren adaptaciones normativas y proponer recomendaciones para fomentar la adopción y regulación adecuada de esta tecnología innovadora.

La visita técnica a varios puntos de la región de San Antonio La Paz será fundamental para recopilar datos empíricos y obtener una comprensión más profunda de las necesidades y desafíos locales. Se realizarán entrevistas con profesionales de la construcción, desarrolladores de viviendas, representantes del gobierno local y posibles beneficiarios de viviendas asequibles. Estos datos permitirán tener una visión más precisa de la realidad local y evaluar el potencial impacto de la implementación de impresoras 3D de concreto en la región.

Además, se evaluará el aspecto ambiental de la tecnología de impresión 3D de concreto en la construcción de viviendas. Se analizará el consumo de materiales, la reducción de residuos y las posibles emisiones de carbono asociadas con esta tecnología. La sostenibilidad y el impacto medioambiental positivo serán considerados para evaluar el enfoque de construcción sostenible en el contexto de San Antonio La Paz, El Progreso.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Investigar y evaluar la viabilidad técnica, económica y social de la impresión 3D de concreto como método innovador para la construcción de viviendas asequibles y eficientes en áreas de necesidad habitacional en San Antonio La Paz, El Progreso, Guatemala, con el fin de ofrecer soluciones sostenibles y mejoradas a los desafíos de la vivienda en el sector.

B. Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto impreso en 3D para viviendas, comparándolas con los estándares de construcción convencionales en Guatemala.
- Analizar los costos económicos de la construcción de viviendas mediante la impresión 3D de concreto, considerando la reducción de mano de obra y los tiempos de construcción.
- Identificar los beneficios y limitaciones de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Guatemala.
- Estudiar la estratigrafía para la identificación de problemáticas que podrían traer las condiciones climáticas del país.
- Investigar distintas técnicas de impresión tomando en cuenta la resistencia a la flexión y deflexión de las estructuras.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Impresión 3D

1. ¿Qué es la impresión 3D de concreto?

En los últimos años, ha aumentado significativamente la importancia de la fabricación aditiva en la industria de la construcción, en particular, el uso de impresoras 3D de hormigón que se están volviendo cada vez más populares entre arquitectos y empresas de construcción. El hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo, ya que es económico y se compone de cemento, agua y otros agregados. Aunque las impresoras 3D de hormigón pueden ser costosas, con precios que van desde los 180 mil hasta el millón de dólares, hay varios beneficios que superan los métodos de fabricación tradicionales, incluyendo mayor rapidez, menor costo, seguridad y eficiencia. Además, las impresoras 3D de hormigón minimizan el desperdicio y reducen la necesidad de personal y cadenas de suministro largas. Además, su uso permite una mayor complejidad geométrica y resiliencia en la construcción.

(3Dnatives, 2023)

2. ¿Cómo funciona una impresora 3D de concreto?

Una impresora 3D de hormigón común opera de forma similar a una impresora de escritorio convencional, ya que ambas emplean la técnica de extrusión de material. Los procesos que utilizan son muy similares. Primero se crea un modelo digital mediante un software de modelado 3D, el cual se lamina y se traduce al G-code. A continuación, el cabezal de impresión es guiado por el G-code para depositar el material que se bombea desde una mezcladora de cemento en capas, hasta completar la pieza final. La solución de hormigón se utiliza para fabricar estructuras de forma aditiva, mediante la extrusión de material por medio de un brazo que se conecta al cabezal de impresión y a un sistema robótico o de tipo pórtico. El diseño, la capacidad y el proceso de la máquina dependerán

del tipo de impresora, con ventajas e inconvenientes específicos según la aplicación deseada.

(3Dnatives, 2023)

B. Alternativa a la impresión 3d de concreto

Prefabricados

Los elementos prefabricados se producen en un entorno de trabajo más seguro, con un mayor control del proceso de producción en términos de calidad, tiempo y seguridad para los trabajadores. Además, se reduce el consumo de recursos y la generación de residuos. La construcción prefabricada se caracteriza por ser en seco, donde los diferentes elementos se ensamblan en el lugar de obra sin necesidad de utilizar cemento u otros materiales similares. Por lo tanto, se utiliza muy poca agua en comparación con la construcción tradicional, y también se consume menos energía debido a que la instalación del sistema es más simple y los plazos de ejecución son más cortos.

Sin embargo, la construcción prefabricada requiere una fase inicial más intensiva de diseño y redacción de proyecto. Esto implica el uso de herramientas BIM, lo que permite avanzar rápidamente en el diseño. Las herramientas BIM generan un modelo virtual en 3D que contiene toda la información necesaria, como las características técnicas de los materiales, el aspecto estético, las mediciones precisas, el costo, el análisis del ciclo de vida, los residuos generados y el consumo de energía, entre otros aspectos. Esto no solo representa un avance, sino que también permite prever y evaluar el proceso constructivo después de la fase de diseño.

(Serrano, 2021)

C. Tecnificación

Aunque la industria de la construcción ha estado rezagada en comparación con otros sectores durante mucho tiempo, no está exenta de los cambios que se están produciendo. A pesar de su importancia, ha quedado rezagada en comparación con industrias como la

manufactura, el retail o los servicios financieros. A nivel mundial, la industria de la construcción desempeña un papel crucial. Según datos de la OCDE (2022) y el Banco Mundial (2022), representa aproximadamente el 13 % del producto interno bruto mundial y emplea alrededor del 7 % de la población económicamente activa. Sin embargo, su productividad ha sido alarmantemente baja en los últimos cuarenta años. En las décadas de los 30 y 40, la construcción era considerada una de las industrias más innovadoras y vanguardistas de su época. ¿Podemos decir lo mismo en la actualidad? Seguramente no.

Este hecho se puede explicar, entre otras razones, por dos preocupantes situaciones. Según datos de Gartner (2020), la industria de la construcción sigue siendo una de las menos digitalizadas, ocupando un lugar por encima únicamente de la agricultura y la extracción de combustibles fósiles. Además, es uno de los sectores que destina menos porcentaje de sus ganancias a la investigación y desarrollo, con menos del 1 % en promedio, en comparación con porcentajes del 5 % o 6 % en industrias más avanzadas. A nivel mundial, y no solo en Latinoamérica, la construcción parece estar atrapada en un círculo vicioso de márgenes de ganancia muy ajustados, lo que provoca una falta de inversión en investigación, innovación y, en última instancia, baja productividad, lo que perpetúa los márgenes de ganancia ajustados.

(Toledo, 2023)

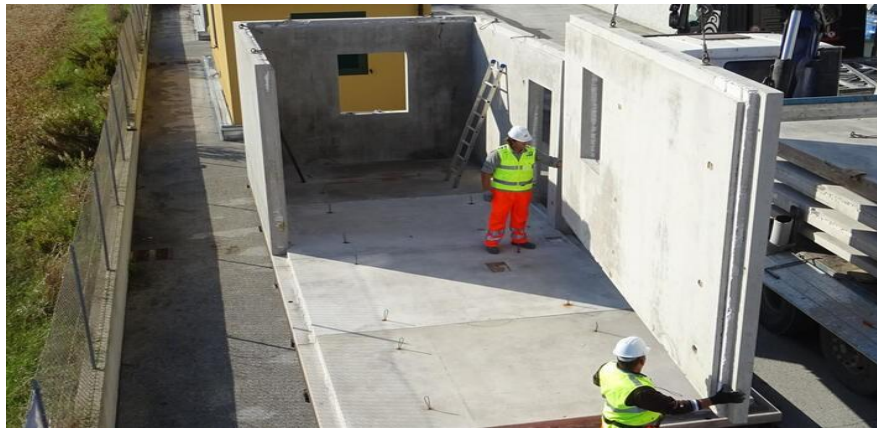


Figura 1. Imagen que representa prefabricados como método de tecnificación

Fuente: EMMEDUE S.p.A. (s. f.)

D. Usos para la impresión 3d de concreto

1. Proyectos conceptuales

La impresión 3D de estructuras de hormigón, incluidas las viviendas, ha hecho mella en las noticias, pero menos cuando se trata de penetrar en el mercado de nuevas viviendas o estructuras comerciales. Las barreras para el progreso de esta tecnología, que según los proponentes podría hacer que la vivienda sea más asequible y disponible, incluyen:

- Falta de capacidad de las empresas para obtener patentes: una de esas empresas se ha negado a informar a ForConstructionPros para proteger los secretos comerciales que aún no se pueden proteger y otras no han respondido a las consultas.
- Mezclas patentadas que requieren materiales agregados diseñados.
- Requisitos del código de construcción que provocan retrasos locales en la aprobación del proyecto.
- Falta de maquinaria de impresión de hormigón 3D disponible comercialmente.

Recientemente, Diamond Age, con sede en Phoenix, anunció U50 millones de dólares en fondos de capital de riesgo para su sistema integrado de construcción de automatización de edificios que aborda los problemas del código de construcción al basar su tecnología en el código existente para la construcción de mampostería apilada. La tecnología de la compañía aumenta la impresión 3D de concreto con características robóticas que cortan aberturas en las paredes, nivelan superficies de concreto, instalan electricidad y mecánica y otros pasos que requieren mucha mano de obra en el proceso de construcción de viviendas.

La ronda de la serie A fue dirigida por Prime Movers Lab, con sede en Jackson Hole, WY. Los inversores semilla Alpaca VC, Dolby Family Ventures, Timber Grove Ventures y Gaingels invirtieron por encima de su prorrato y se unieron a Signia Venture Partners. Además, el 20 % de la ronda provino de clientes de Diamond Age, incluidos

constructores de viviendas de producción y promotores inmobiliarios. La compañía recibió 8 millones de USD en fondos iniciales en agosto de 2021.

(Makenica, 2020)

2. Vivienda

Aunque pueda parecer una idea extravagante, la tecnología de impresión 3D ha logrado hacer posible la construcción de viviendas mediante este método. A continuación, te explicaremos cómo funciona todo el proceso, desde la fase inicial de diseño hasta los toques finales.

a. Crear un plano

De manera similar a las viviendas construidas de forma convencional, el primer paso en el proceso de construcción de viviendas en 3D implica la creación de un plano. Este plano de la casa se diseña utilizando un programa de software de modelado, lo cual permite una personalización sencilla para cumplir con los requerimientos específicos del propietario.

b. Enviar diseño a impresora

Una vez que se ha aprobado el plano de la vivienda, el constructor procede a enviar el diseño a la impresora 3D. Este paso del proceso se denomina preparación. Luego que la impresora ha procesado el archivo digital, llega el momento de preparar la plataforma de construcción y cargar los materiales necesarios para iniciar la ejecución del proyecto.

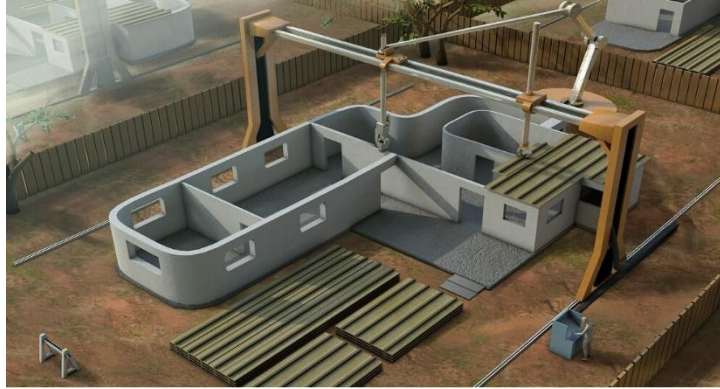


Figura 2. Proceso conceptual de construcción 3D

Fuente: Imagen sin atribución identificable, dominio público.

c. Imprime materiales capa por capa

Antes de que se inicie la impresión, se instalan rieles alrededor del área de construcción para guiar el brazo robótico hacia la ubicación donde se colocará la mezcla de construcción, similar a una pasta. En la construcción 3D, el concreto es el material más comúnmente utilizado en la actualidad. Una vez que se selecciona la opción de "imprimir", la impresora comienza a funcionar automáticamente para iniciar la construcción.

Las impresoras 3D emplean el proceso de fabricación aditiva para imprimir los materiales de forma gradual, capa por capa. La extrusión de material es el método utilizado, donde el material de impresión se calienta y luego se expulsa a través de una boquilla. Para asegurar la solidificación rápida del material de construcción, se utiliza un secador de concreto, y posteriormente se añade una nueva capa para continuar el proceso de construcción.

d. Instalar construcción adicional

En la actualidad, el proceso de impresión descrito anteriormente se limita únicamente a los cimientos y las paredes de la vivienda. Aún se requiere de construcción adicional y la intervención de mano de obra humana para completar el proyecto.

Una vez que la casa ha sido impresa y se han realizado los pasos de pos-procesamiento, como la remoción de los rieles del área de trabajo, es momento de agregar características adicionales a la vivienda. Los trabajadores acuden al sitio de construcción para instalar elementos como ventanas, puertas, sistemas de plomería y cableado eléctrico, con el fin de finalizar el proyecto.

(Sevilla Actualidad, 2023)



Figura 3. Vivienda construida con tecnología de impresión 3D de concreto

Fuente: S.A (2022)

E. Aceptación de tecnología en la sociedad

Hay mucha expectación en torno a la impresión 3D en la construcción. A gran escala, la impresión 3D en la construcción aún se encuentra en una etapa muy temprana de desarrollo. El hormigón es un material muy desafiante para la impresión 3D. Una impresora 3D de construcción funciona depositando materiales como el hormigón, capa por capa, a través de una boquilla. Por lo tanto, durante la impresión, el concreto debe estar fluido para que pueda salir de la boquilla. Después de la impresión, el concreto debe perder rápidamente una gran parte de su fluidez para mantener la forma impresa. Sin embargo, el hormigón no debe endurecerse demasiado rápido para que las capas tengan tiempo de adherirse unas a otras. Si las capas simplemente se asientan sobre otras capas sin ninguna

conexión fuerte entre ellas, dará como resultado una estructura débil sin resistencia a la tracción. Todo esto significa que no podemos usar concreto normal en la impresión 3D, siempre se necesitará un tipo especial de concreto, siempre con diferentes tipos de aditivos.

La velocidad actual de las impresoras 3D no es comparable con las modernas fábricas de prefabricados. Además, la calidad del prefabricado es mucho mejor que en la impresión 3D. La impresión 3D permite la fabricación de formas complejas, pero en el caso de estructuras de hormigón típicas, como paredes, la eficiencia de la impresión 3D está muy lejos de la eficiencia alcanzada por la tecnología actual de prefabricados.

A pesar de sus limitaciones actuales, debemos estar abiertos a las posibilidades que brinda la impresión 3D. La impresión 3D puede verse como un enfoque para aumentar la automatización de la construcción. Si lo vemos objetivamente, la impresión 3D en la construcción no es muy evidente. Se necesitará cada vez más automatización en la construcción. La impresión 3D puede ser una herramienta para ayudar a desarrollar la automatización en la construcción, pero ciertamente no es la única herramienta.

(Iribar, 2023)

F. Usos de la impresión 3D de concreto en diferentes continentes

1. Uso en Europa

La impresión 3D de concreto ha experimentado un auge en los últimos años. Proyectos como el de Apis Cor, que fabricó una casa en 24 horas, o Be More 3D, que construyó la primera casa impresa en 3D en España, han impulsado esta tendencia. Cada vez más empresas se suman a esta innovación. Los Países Bajos han destacado en este campo y ahora han dado un paso más al establecer el primer Centro de Impresión de Concreto en Eindhoven.

Este proyecto es una colaboración entre BAM Infra, Saint-Gobain Weber Beamix, Bekaert, Witteveen + Bos, la Universidad de Tecnología de Eindhoven (TU/e) y Van

Wijnen. Su objetivo es impulsar el avance de las tecnologías de fabricación aditiva y reducir las emisiones de CO2 en la construcción. Esto es posible mediante el uso de tecnologías 3D, que permiten reducir el desperdicio de materiales. Hace unos días, se anunció el primer encargo del centro: la impresión en 3D de cuatro puentes para bicicletas en los Países Bajos.

Además de ser un centro de impresión 3D, este lugar también albergará la primera Comunidad de Casas Impresas en 3D, un proyecto que se presentó hace algunos meses. "Creo que la impresión 3D de concreto tiene un futuro fantástico. Nuestro objetivo final es poder imprimir una casa en el lugar de construcción", mencionó Bas Huysmans (2019, párr. X), director general de Weber Beamix. Para llevar a cabo el desarrollo del Centro de Impresión de Concreto en 3D, fue necesario reunir a varios actores, incluidos investigadores con años de experiencia en la industria de la impresión 3D de concreto.

"A mediados de la década de los noventa, comenzamos a imprimir concreto, pero en ese momento no había mercado para ello. Veinte años después, alguien de la Universidad de Tecnología de Eindhoven tocó a nuestra puerta y quiso iniciar un proyecto de impresión 3D de concreto. Nos entusiasamos de inmediato", relató Huysmans (2019, párr. Y).

Theo Salet, profesor de la Universidad de Tecnología de Eindhoven, habla sobre su investigación: "Hace cuatro años, comencé un estudio sobre la impresión 3D de concreto. No quería hacerlo solo, así que empecé a buscar socios". Sin embargo, fueron estos socios los que encontraron a Salet, y así se dio inicio al proyecto en colaboración con Saint-Gobain Weber Beamix, BAM Infra, Bekaert, Witteveen + Bos, la Universidad de Tecnología de Eindhoven y Van Wijnen. Este es solo el primer paso del proyecto. Una de las principales metas del nuevo Centro de Impresión de Concreto en 3D es mejorar las tecnologías y los materiales para que esta técnica se establezca definitivamente en el campo de la construcción.

(Lucía C., 2019)

2. Uso en Norteamérica

La compañía canadiense nidus3D, especializada en impresión 3D para la construcción, ha levantado lo que afirma ser el primer edificio de varios pisos impreso en 3D en América del Norte: una casa ubicada en Ontario, Canadá. Para esta construcción, nidus3D utilizó la impresora BOD2 de COBOD, cuya tecnología ya ha sido empleada para imprimir en 3D los primeros edificios de dos y tres plantas en Europa.

La impresora BOD2 tiene la capacidad de imprimir concreto real con partículas de hasta 10 mm y un 99 por ciento de componentes basados en materias primas locales. COBOD desarrolló esta solución de bajo costo en colaboración con el gigante del cemento, Cemex. La casa de dos pisos constará de un estudio en la planta baja y una residencia en el piso superior, abarcando un área total de 2,300 pies cuadrados destinados a un uso mixto.

Según nidus3D, uno de los nuevos métodos innovadores empleados en el proyecto fue la creación de una viga horizontal impresa en 3D en el lugar y luego levantada por una grúa. "Tenemos una escasez crítica de trabajadores calificados y una creciente demanda de viviendas en todo Canadá", afirmó Ian Arthur, uno de los fundadores de nidus3D. "Si no comenzamos a buscar nuevas formas de construir, nunca podremos ponernos al día. Es parte de nuestros valores fundamentales buscar soluciones para abordar la crisis habitacional y ayudar a construir viviendas asequibles mediante la impresión 3D". (Arthur, 2022)

Nidus3D explica que una de las muchas ventajas de las casas impresas en hormigón 3D es su rapidez de construcción. El edificio completo se imprimió en 80 horas, en comparación con las 200 horas del primer edificio impreso en 3D. Además, nidus3D está convencida de que los edificios futuros se construirán aún más rápido. "Nuestra tecnología y nuestras impresoras de construcción 3D permiten una ejecución más rápida de los proyectos y una construcción más eficiente a un costo menor, gracias a los menores

requisitos de mano de obra y al uso de concreto de bajo costo", declaró Philip Lund-Nielsen, cofundador y director de las Américas en COBOD Internacional.

(COBOD, 2022)

3. Uso en Latinoamérica

En América Latina, la adopción de la manufactura aditiva está en proceso y empresas como Cementos Progreso son un ejemplo del crecimiento de la impresión 3D en la región. Esta empresa cementera ha colaborado con COBOD International para implementar la primera impresora 3D en Guatemala, con el objetivo de abordar el déficit de viviendas en el país.

Cementos Progreso es una empresa guatemalteca con más de 100 años de experiencia en la industria de la construcción, especializada en hormigón y otras soluciones. Además, contribuye a la construcción de proyectos sostenibles que mejoran la calidad de vida en los 11 países donde opera. En 2021, Cementos Progreso se asoció con COBOD International, una empresa líder en soluciones de impresión 3D en la construcción, convirtiéndose en su socio en América Latina y permitiendo la aplicación de la impresión 3D en la región guatemalteca.

El departamento de I+D de Cementos Progreso ha estado investigando durante más de 3 años el desarrollo de un material cementicio imprimible en 3D, liderando así la implementación de la impresión 3D en Guatemala. Recientemente, han anunciado la inauguración de un Centro de Innovación y Desarrollo que impulsará la industria de la impresión en la construcción en América Latina. El centro está equipado con una impresora 3D COBOD que Cementos Progreso planea utilizar en proyectos de vivienda que se encuentran en fase de modelado 3D. Ambas empresas están orgullosas y satisfechas de esta colaboración.

Philip Lund-Nielsen, cofundador y director de las Américas de COBOD International, comentó: "En COBOD International nos enorgullece tener a Cementos Progreso como uno de nuestros socios. Es una empresa innovadora que lidera la industria de la impresión 3D para la construcción en América Latina. Con nuestra tecnología, estamos entusiasmados

de ver cómo Cementos Progreso agiliza la ejecución de proyectos de construcción y logra una construcción más eficiente a un menor costo".

(María José R., 2022)

G. San Antonio La Paz, El Progreso, Guatemala

1. Antecedentes del municipio

San Antonio La Paz, el Progreso, durante su proceso de desarrollo urbano, desde la época de su fundación en el siglo XVIII hasta el día de hoy, ha sufrido una serie de fenómenos políticos y sociales, esto ha llevado a sufrir problemas de inestabilidad económica y contracción productiva de sus habitantes. El desplazamiento interno de los grupos sociales, generalizado por los menos poseídos, que utilizan el área rural y buscan los centros urbanos como refugio a su precaria seguridad o solución a mejorar su situación económica social y cultural.

2. Ubicación del municipio

El Municipio está ubicado al suroeste del departamento de El Progreso y cuenta con una extensión territorial de 209 kilómetros cuadrados, lo que equivale al 10.87 % del total del Departamento, se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 1,240 metros y con una latitud norte de 14° 45' 25.00" y una longitud oeste de 90° 17' 08.00". A continuación, se presenta la localización y extensión territorial del Municipio.

(SIG, Municipalidad de San Antonio La Paz, 2011)

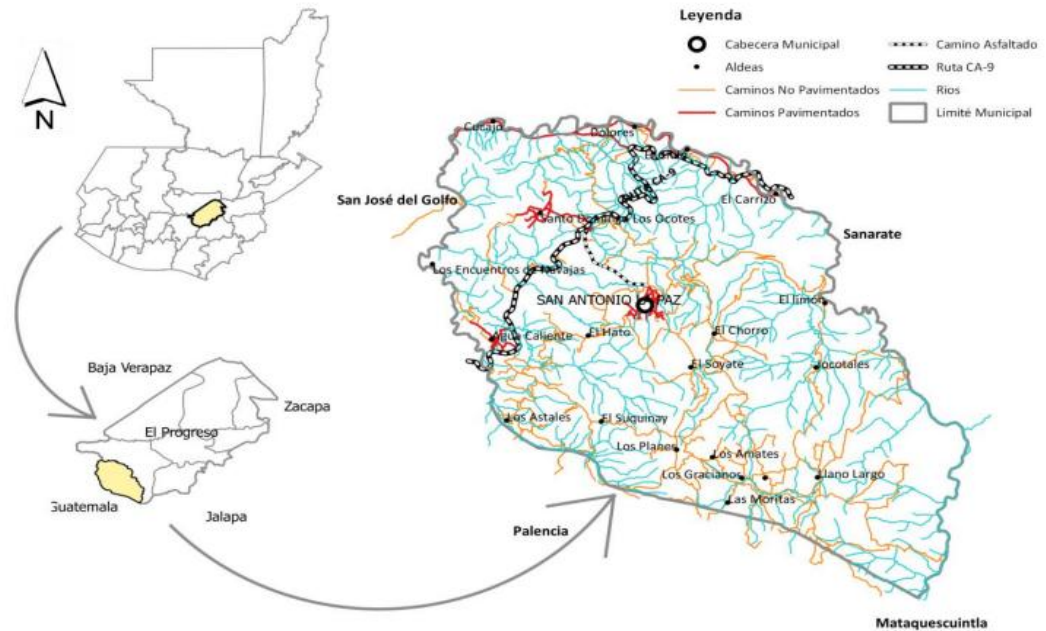


Figura 4. Mapa de ubicación de municipio de San Antonio La Paz, Guatemala

Fuente: Municipalidad de San Antonio La Paz (2011)

3. Tipo de suelo

El municipio de San Antonio La Paz posee áreas con potencial agrícola, silvícola, pecuario y mineralógico. Desde el punto de vista genético los suelos del municipio se clasifican de la siguiente manera: suelos desarrollados sobre materiales volcánicos, suelos desarrollados sobre materiales sedimentarios y metamórficos, suelos poco profundos sobre esquisto y serpentina.

4. Hidrografía y orografía

El municipio de San Antonio La Paz posee una variedad de ríos y riachuelos, el principal es el de Agua Caliente, el cual en sus riveras es aprovechado como baños de agua termal de donde le proviene el nombre, otro río que atraviesa el municipio es el Plátanos que más adelante desemboca en el río Motagua. En la época de invierno se cuenta con suficientes riachuelos, arroyos y ojos de agua, pero en la estación seca se reduce el número como consecuencia de la falta de lluvias, altas temperaturas y la tala inmoderada de árboles. Entre

otros ríos tenemos: Agua Dulce, Las Cañas, Las Pacayas y algunos riachuelos como se describen: Agua Blanca, Agua Fría, Bijagual, Capitanes, El Naranjo, El Pericón, El Quequexcal, Llano Largo, Peña de la Virgen, San Antonio, Las Burras, Las Moritas, Los Gracianos y los Limones. Entre los accidentes orográficos se encuentran algunas quebradas como se describen: Agua Fría, Cimarrón, el Chorro, Del Muerto, El Arenal, El Capulín, El Coyol, El Jicarito, Honda, Las Minas, Las Piedronas, Las Vacas, Los Ájales, Los Limones, Nance Dulce, San Antonio, El Mango, El Pajal, El Salitre, El Ujuxtal, Grande, San Miguel, Seca, Escorpión, Terrenito y Vista Hermosa.

(SIG, Municipalidad de San Antonio La Paz, 2011)

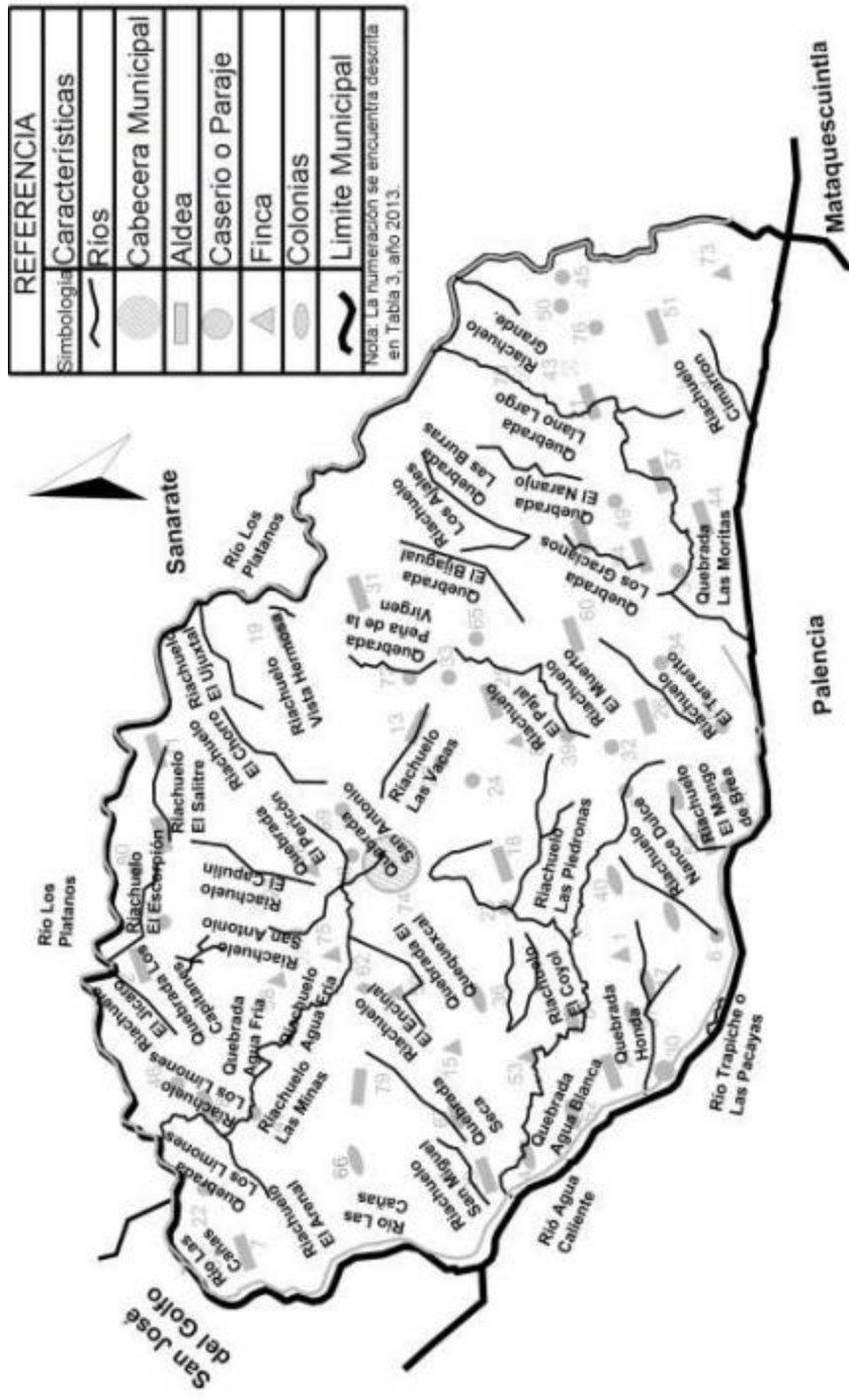


Figura 5. Plano de ubicación de San Antonio La Paz, Guatemala

Fuente: SEGEPLAN (2011)

5. Pobreza

La pobreza se ha caracterizado por la escasa o ausencia de factores que impiden el bienestar económico de las personas, de ahí la necesidad de definirla como: "...cuando una o más personas están o caen bajo un cierto nivel de bienestar económico considerado como un mínimo razonable, ya sea en términos absolutos o por los estándares de una sociedad específica" (Rowntree, 1901, citado en CEPAL, 2001).

También se puede decir que "es una situación o forma de vida que sufren grandes sectores de la humanidad, como producto de la imposibilidad de acceso y/o carencia de los recursos para satisfacer sus necesidades básicas, lo cual incide en el deterioro de la calidad de vida de las personas" (Boltvinik, 1995).

Son múltiples las causas que inciden en el deterioro de las condiciones de vida de la población, fundamentalmente deben analizarse aquellas que se vinculan con los precios de los bienes y servicios, así como aquellas que tienen relación directa con los ingresos de las familias. Los resultados de la Encuesta de Condiciones de Vida en Guatemala - ENCOVI presentados por el Instituto Nacional de Estadística -INE- en el año 2011, demuestran la vulnerabilidad de las familias que viven con un salario de subsistencia.

Año	Descripción	Extrema	No Extrema	General
2002	Nacional	15.00%	36.00%	51.00%
	Departamental	8.00%	34.00%	42.00%
	Municipal	6.65%	41.43%	48.08%
2011	Nacional	13.00%	40.00%	53.00%
	Departamental	5.00%	37.00%	42.00%
	Municipal	11.20%	38.50%	49.70%
Investigación 2013	Municipal	62.00%	27.00%	89.00%

Cuadro 1. Indicadores de pobreza San Antonio La Paz, El Progreso, 2002, 2011, 2013

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2013)

Uno de los principales objetivos del milenio es erradicar la pobreza extrema y el hambre a nivel internacional; en la tabla anterior se muestran los principales indicadores de la pobreza desde el ámbito nacional, departamental y municipal.

En el mismo puede observarse que la situación de pobreza extrema a nivel nacional y departamental ha disminuido durante el período 2002 a 2011 en 2 % a nivel nacional y 3 % a nivel nacional.

La ENCOVI 2011 clasifica en situación de pobreza extrema los hogares que perciben un salario o ingresos inferiores a Q4,380.00 por año y en situación de pobreza no extrema a las que perciben ingresos anuales menores a Q9,030.00. Al hacer una retrospectiva, la ENCOVI 2006 clasificó en extrema pobreza a las personas que percibieron ingresos de Q3,206.00 al año, y en pobreza no extrema las que obtenían ingresos anuales menores a Q6,574.00. Una familia que ya vivía en condiciones de extrema pobreza en el año 2006 ahora debe obtener Q1,174.00 adicionales y mientras que una familia que ya vivía en condiciones de pobreza en el 2006, ahora necesita Q2,456.00 adicionales para poder subsistir y que sus condiciones de vida no se vuelvan aún más deplorables; lo anterior evidencia un incremento de 27 % en ambas categorías, producto de las continuas variaciones que sufre el poder adquisitivo de la moneda.

Según información obtenida dentro de los mapas de pobreza elaborados por SEGEPLAN durante el año 2002, a nivel departamento se catalogaba a El Progreso con un nivel de pobreza general del 45.4 % y con pobreza extrema del 8.6 %, esto pone en consideración el grado de severidad de la pobreza, el mismo hace referencia a que el Departamento como un todo permanecía en ese entonces dentro de los departamentos con menor grado de severidad de la pobreza con 7.6 % dentro de la línea de la pobreza general y 0.6 % bajo la línea de pobreza extrema.

Como resultado final de la investigación se puede determinar que la pobreza general dentro del Municipio es de 88 %, este indicador pone de manifiesto que existe un gran porcentaje de la población que no puede tener acceso a cubrir sus necesidades básicas y a la vez las medidas emitidas por el índice de desarrollo humano que contempla la salud, el

conocimiento y el nivel de vida; a su vez permite identificar que únicamente el 12 % de la población encuestada se encuentra dentro del rubro de los no pobres.

6. Uso del territorio

El territorio forma parte de los 54 municipios que conforma en una mínima parte el corredor seco de Guatemala específicamente la parte baja del mismo; sin embargo, el resto del municipio se encuentra en categoría alta de amenaza a sequía. Las dinámicas de desarrollo del municipio se ven determinadas también, por la ampliación a cuatro carriles de la ruta CA-9 que va desde la ciudad capital hasta la aldea El Rancho del municipio de Guastatoya, que cuenta con una extensión territorial de 64 kilómetros de los cuales 17.08 atraviesan el municipio, los cuales atraviesan distintos lugares poblados que han desarrollado actividades económicas en su trayectoria. Como parte del análisis urbano del municipio y mediante el taller participativo de organización actual del territorio se distinguen dos centros poblados que además de ser centros prestadores de servicios para el municipio y cada uno centralidad de la microrregión a la que pertenecen cuentan con características de desarrollo urbano emergente por lo que se denominan núcleos rurales estratégicos a los cuales deberá de fortalecer en las capacidades para la prestación de servicios básicos de calidad y contar con su propio plan local de ordenamiento territorial, estas son: Agua Caliente y Santo Domingo los Ocotes. Otra de las características territoriales similares entre ellos es que la ruta CA-9 atraviesa en medio de las tres microrregiones brindándoles la oportunidad de desarrollo ya que son las áreas predominantes espacios para la definición de uso de suelo comercial-industrial.

(SEGEPLAN, 2011)

7. Falta de vivienda

a. Crecimiento poblacional desordenado

Una de las causas de lo cual no ha existido interés por solucionar es la inexistencia de acuerdos municipales para la actualización de los lugares poblados ante INE e IGN para que los datos oficiales coincidan con la realidad del territorio y el no existir un reglamento

municipal que regule la creación de los mismos abonan a la problemática. Además, uno de los problemas relacionados a esta situación es la tenencia de la tierra, ya que San Antonio La Paz históricamente perteneció a fincas privadas de las cuales la mayoría del territorio municipal aún pertenece a tres fincas y muchos de los lugares poblados no tienen certificación jurídica de tierras. Por lo tanto, el tema de los propietarios de lotificaciones no cumple con requisitos y no reúnen las condiciones mínimas para lotificar, lo que se ocasiona por no contar con un reglamento municipal y darle seguimiento a la escrituración de lugares poblados y de cada predio municipal. Otras de las deficiencias administrativas del territorio es que no se cuenta con un registro de información actualizada de los distintos tipos de servicios lo que impide poder planificar y garantizar intervenciones sostenibles y de impacto para la población y la gestión del desarrollo en general.

b. Inexistencia de planificación y ordenamiento territorial

Si bien San Antonio La Paz es un municipio ubicado a tan solo 37 kilómetros de la ciudad capital, cuenta con dos lugares poblados aparte de la cabecera municipal (Agua Caliente y Santo Domingo) con un desarrollo urbano dominante siendo necesario regular y normar las distintas intervenciones sobre el territorio para evitar que sigan siendo recurrentes tanto efectos como las causas que abonan a la problemática actual. Por lo que el escenario tendencial de esta situación será que se incrementará la demanda de servicios a la municipalidad en el área rural, urbana y residenciales o colonias privadas, para los grupos delictivos será un atractivo el municipio sin atención ni desarrollo, la conformación de grupos de personas o familias como lugares poblados nuevos sin contar con un registro en la municipalidad y ordenanzas municipales que regulen el crecimiento de viviendas.

(SEGEPLAN, 2011)

8. Análisis de mercado de impresión 3d de concreto

Se espera que el mercado de impresión de hormigón 3D crezca con una tasa compuesta anual de más del 65 % durante el período previsto.

COVID-19 afectó negativamente al mercado en 2020 debido a la escasez de capital provocada por los cierres y los proyectos de construcción pospuestos. Debido a la pandemia, las nuevas inversiones en proyectos de construcción comercial y residencial han disminuido sustancialmente, lo que ha reducido la demanda, restringido el flujo de caja y aumentado el desempleo. Sin embargo, se prevé que el mercado crezca de manera constante, debido al aumento de las actividades de edificación y construcción durante el período previsto.

- A corto plazo, la creciente demanda de construcciones personalizadas y eficientes en términos de dinero, las crecientes inversiones en infraestructura debido a la rápida urbanización e industrialización y el creciente enfoque en construcciones ecológicas e inteligentes son factores importantes que impulsan el crecimiento del mercado estudiado.
- Sin embargo, el estancamiento del crecimiento industrial en los países desarrollados es un factor clave que se prevé restringirá el crecimiento de la industria objetivo durante el período previsto.
- Sin embargo, es probable que las crecientes innovaciones en el mercado de impresión 3D de Asia y el Pacífico, especialmente en China, y el desarrollo de la impresión de hormigón armado en 3D creen pronto oportunidades de crecimiento lucrativas para el mercado global.
- Se estima que Asia-Pacífico será testigo de un crecimiento saludable durante el período previsto en el mercado de impresión de hormigón 3D debido a la construcción de proyectos residenciales y de infraestructura de pequeña escala.

(Mordor Intelligence, 2024)

I. Tendencias del mercado:

a. Sector de infraestructura para dominar el mercado

- El mercado de infraestructura para la impresión de hormigón en 3D ha crecido significativamente, particularmente en Asia-Pacífico y otras áreas en crecimiento.

En países como la India, el sector de infraestructura impulsa la expansión de industrias relacionadas como municipios, viviendas, infraestructura construida y proyectos de desarrollo de la construcción, actuando como un motor del crecimiento económico en la India.

- En 2021, se disparó el uso de la impresión 3D en la construcción de viviendas. Como resultado del rápido crecimiento de la urbanización, en varios países en crecimiento surgió la necesidad de una construcción más rápida de estructuras de infraestructura.
- En octubre de 2022, MiCoB Pvt. Limitado. Ltd declaró que había logrado una velocidad de entrega récord de 30 días para una cabaña de controlador de pista de hormigón impresa en 3D a los Servicios de Ingeniería Militar de la Base Aérea de Pune. El edificio terminado es la primera estructura híbrida G+1 de la India que combina la impresión de hormigón en 3D con una estructura de acero prefabricada.
- Project Milestone es un complejo residencial proyectado en Eindhoven, Países Bajos, que consta de cinco estructuras impresas en 3D diseñadas por Houben/Van Mierlo Architects. La primera estructura, una vivienda unifamiliar de un solo piso, se construyó en abril de 2021.
- Según la IBEF, en el presupuesto de la unión 2022-23, el gobierno ha dado un impulso masivo al sector de infraestructura asignando INR 10 lakh crore (USD 130.57B) para mejorar el sector de infraestructura.
- India tiene la intención de invertir 1,4 billones de dólares en infraestructura a través de su National Infrastructure Pipeline. Las operaciones relacionadas con infraestructura en el año fiscal 21 contribuyeron con el 13 % de los USD 81,720 millones en entradas totales de IED.

(Mordor Intelligence, 2024)

b. Región de Asia y el Pacífico

- El sector de la construcción de Asia y el Pacífico es el más grande del mundo y está aumentando a un ritmo saludable, debido al aumento de la población, el aumento de los ingresos de la clase media y la urbanización. La creciente actividad de

construcción de infraestructura es el principal impulsor del sector de la construcción de Asia y el Pacífico.

- China es uno de los países líderes en la región de Asia y el Pacífico que surgió como un importante consumidor de impresión de concreto 3D debido al fuerte apoyo gubernamental, los esfuerzos hacia la estandarización y la expansión de segmentos de aplicaciones.
- Por ejemplo, un equipo de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Tsinghua en China construyó un puente de hormigón de 26.3 metros de largo, considerado el puente impreso en 3D más largo del mundo. En menos de 450 horas, dos sistemas de impresión 3D con brazos robóticos crearon ciento setenta y seis componentes de hormigón para el nuevo puente impreso en 3D.
- En la India, la tecnología de impresión 3D parece ser una solución eficaz al problema de la escasez de viviendas, que ha sido una de las principales preocupaciones en el pasado debido al crecimiento demográfico. Por ejemplo, Tvasta Manufacturing Solutions, una empresa con sede en Chennai, completó recientemente una casa de 500 pies cuadrados en 21 días utilizando una impresora 3D.
- Según Ipsos Global Infrastructure Investor Association, en 2021, el 77 % de los encuestados en China afirmaron estar muy o bastante satisfechos con la infraestructura nacional. Además, el 45 % de los encuestados en Malasia dijeron que estaban muy o bastante satisfechos con la infraestructura nacional de Malasia.
- Así, la actividad de la construcción ha ido creciendo en Asia-Pacífico, lo que se espera que impulse el mercado de la impresión de hormigón en 3D.

(Mordor Intelligence, 2024)

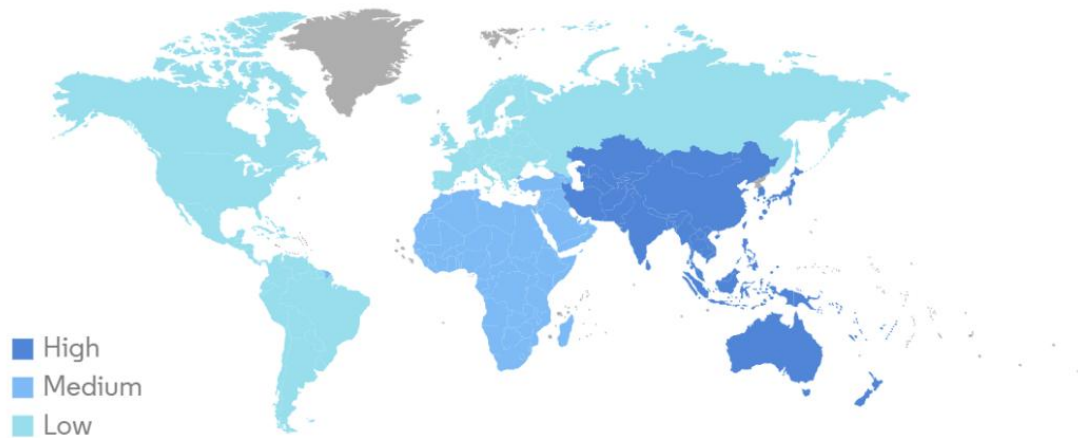


Figura 6. Mercado de impresión de concreto 3D: tasa de crecimiento por región, 2022-2027

Fuente: Mordor Intelligence (2024)

c. Líderes del mercado de la impresión 3d de concreto

- Yingchuang Building Technique (Shanghai) Co. Ltd (WinSun)
- COBOD
- Apis Cor Inc.
- ICON Technology, inc.
- WASP S.r.l. - Via Castelletto

d. Noticias en el mercado

Octubre de 2022 Holcim anunció su inversión en COBOD International para avanzar en materiales de impresión 3D, robótica y automatización de clase mundial. Las bases de las torres de los molinos de viento impresas en 3D con GE, la primera escuela impresa en 3D del mundo en Malawi y el proyecto de viviendas asequibles impreso en 3D más grande de África en Kenia son solo algunos de los proyectos de construcción de vanguardia en los que Holcim y COBOD han colaborado con éxito.

- Abril de 2022 el ejército de EE. UU. está trabajando con ICON para crear los edificios impresos en 3D más grandes de Occidente. El negocio estadounidense ya ha proporcionado a las tropas estadounidenses muchas estructuras, incluidos cuarteles de entrenamiento y búnkeres de almacenamiento de vehículos. El objetivo de ICON es crear tres cuarteles para los militares en Fort Bliss, Texas. La compañía planea lograr esto utilizando su reconocida impresora Vulcan, que se ha empleado en múltiples proyectos en el estado para viviendas militares y comerciales.

(Mordor Intelligence, 2024)

e. Noticias en el mercado

Después del agua, el concreto es el material más consumido en el planeta y su producción está creciendo sustancialmente, esperando que supere los 4.400 millones de toneladas, alcanzando los 5.500 millones de toneladas para 2050. Desafortunadamente, esto tiene un costo ambiental enorme, que representa casi el ocho por ciento del consumo mundial de las emisiones de carbono. Con esta estimación de crecimiento esperado, las partes interesadas de la industria de la construcción deberían trabajar en la integración de materiales de construcción sostenibles y procesos innovadores.

Como empresa de energías renovables con más de 1.2 millones de kilómetros de líneas de transmisión y distribución eléctrica, Iberdrola necesita más redes de transmisión para facilitar la transición energética de combustibles fósiles a renovables y transportar esta energía verde a los centros de carga y para los clientes. Con el fin de minimizar el impacto ambiental de estas nuevas instalaciones y reducir los costes y plazos de los proyectos, el gigante energético decidió colaborar con Hyperion Robotics y Peikko Group para aplicar la tecnología de impresión 3D para mejorar la construcción de su red de transporte.

(ArchDaily México, 2022)

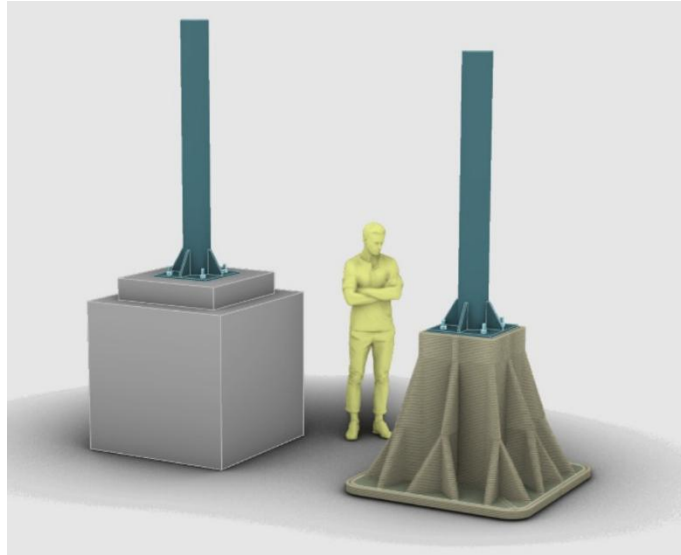


Figura 7. Comparativa entre pedestal de concreto fundido e impreso en 3D

Fuente: ETH Zürich (2020)

La solución proporcionada por Hyperion Robotics tiene como objetivo optimizar la construcción de instalaciones de transporte de energía eléctrica, aumentando la eficiencia y productividad de los procesos. Teniendo en cuenta que la construcción civil es la industria menos automatizada, que actualmente sufre escasez de mano de obra calificada, la solución llega en el momento adecuado. La impresión 3D a gran escala de hormigón bajo en carbono garantiza una construcción de hormigón más económica, rápida, segura y ecológica.

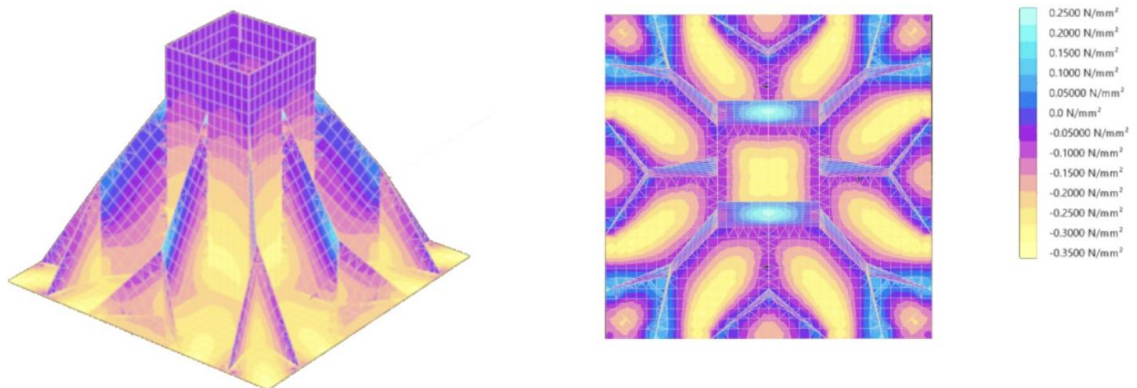


Figura 8. Diagrama de calor de esfuerzos transmitidos a pedestal impreso en 3d

Fuente: ETH Zürich (2017)



Figura 9. Foto realista del proceso de impresión de pedestal

Fuente: ETH Zürich (2020)

Con sus innovadoras micro fábricas de impresión 3D, Hyperion Robotics está reduciendo la cantidad de hormigón estructural necesario hasta en un 75 % y la cantidad de residuos producidos de manera significativa. La solución no solo hace que el proceso sea más sostenible, sino que también mejora las condiciones de salud y seguridad, ya que los robots realizan el trabajo pesado mientras los trabajadores supervisan el proceso.

El reciclaje es otro problema de la industria que está siendo resuelto por la solución de impresión 3D robótica de Hyperion. Actualmente, la mayoría de los residuos no se reciclan, pero el sistema de impresión hace posible el uso de hormigón armado bajo en carbono fabricado con una combinación de materiales al final de su vida útil de la industria,

como escoria de alto horno, cenizas volantes, relaves y residuos de demolición, lo que contribuye a un importante ahorro de costes y a una reducción del 90 % de las emisiones.

(ArchDaily México, 2022)



Figura 10. Pedestal impreso ya instalado en fundición

Fuente: ETH Zürich (2017)

El último proyecto de Hyperion en colaboración con la empresa de energías renovables Iberdrola y el proveedor de tecnología de conexión para elementos de hormigón Peikko Group acaba de comenzar con la primera base de almohadilla impresa en 3D del mundo.

"Esta base [impresa en 3D] es muy especial. Fue diseñado, proyectado e impreso con la ayuda de Peikko e Iberdrola. Siendo el primero en el mundo – está ahorrando un 75 % del material – en comparación con la base de almohadilla tradicional, que normalmente se puede encontrar en infraestructuras energéticas o cualquier otro tipo de proyectos" dijo Henry Unterreiner, cofundador de Hyperion Robotics. (2021)

La innovadora construcción impresa en 3D se probó con tensión horizontal y vertical y demostró que, en la práctica, solo el 25 % del material es suficiente para lograr

la resistencia equivalente a los cimientos tradicionales. Este es un gran éxito en términos de huella de CO2 y mejoras en la metodología de construcción para el futuro a largo plazo de la industria.

(ArchDaily México, 2022)

La tecnología de impresión 3D de hormigón y la robótica brindan nuevas y significativas posibilidades a la industria de la construcción, mejorando la huella de carbono y simplificando la producción de elementos de hormigón directamente desde el sitio.



Figura 11. Armadura interna de pedestal impreso en 3D

Fuente: Hyperion Robotics (2021)

Este proyecto es un gran éxito en términos de huella de CO2 y mejoras en la metodología de construcción para el futuro a largo plazo de la industria. Hyperion trabaja ahora para extender esta aplicación de impresión 3D y aplicarla a las infraestructuras energéticas con el objetivo de minimizar el impacto ambiental de estas nuevas instalaciones y disminuir los costes de los proyectos y los plazos de entrega.

(ArchDaily México, 2022)

V. METODOLOGÍA

A. Sujetos de estudio

Esta investigación es de carácter cualitativo, por lo que se entrevistó a cinco sujetos seleccionados por ámbito, representantes de diferentes empresas o compañías de impresión 3D en Guatemala, para obtener información única y específica.

B. Instrumentos

Para recabar información de los sujetos de estudio: para los sujetos de estudio 1, 2 y 3, se utilizó un cuestionario digital, de 13 preguntas abiertas para recabar información técnica, además que se puede documentar en el momento cualquier otra duda que no esté planteada en la guía y comentarios que ellos deseen agregar en relación con la tecnología involucrada en la impresión 3D. Para el sujeto de estudio 4, se utilizó otra guía de entrevista de ocho preguntas abiertas, ya que aportará sobre los procesos de la impresión 3D en el momento en diferente área.

C. Procedimiento

1. Resumen

Se escribió un párrafo con una breve explicación de qué se trata la investigación, y los temas principales a cubrir en la presente investigación.

2. Índice

El contenido se enumera como título y subtítulo, según la página en la que están documentado.

3. Introducción

Esta parte lo explica brevemente y en términos generales. contenido de la encuesta que llamó su atención.

4. Planteamiento del problema y objetivos

Con el tema seleccionado, se investigó sobre los antecedentes e historia de la impresión 3D en Guatemala, además de aplicaciones en diseño gráfico y se plantearon dos preguntas y sus respectivos objetivos relativos al tema y al diseño gráfico.

5. Metodología

5.1 Sujetos de estudio

Se buscaron sujetos que trabajen impresión 3D en Guatemala y que podían contribuir a la parte técnica y a la parte de diseño gráfico, según los objetivos planteados.

5.2 Instrumentos

Se utilizaron tres instrumentos diferentes, ya que se dividió a los sujetos por ámbito técnico y diseño. A los sujetos pertenecientes al ámbito técnico, se les hará una guía de entrevista relativa al área técnica de la impresión 3D; al de diseño gráfico, una guía de entrevista relativa al proceso de la impresión 3D; y una guía de observación a la ilustración “The 3D Monster”.

5.3 Procedimiento

Se describió todo el procedimiento y cada uno de los pasos.

6. Contenido teórico y experiencias desde diseño

Desarrollaron los temas y subtemas que conforman la investigación.

7. Descripción de resultados

Hicieron gráficas para representar los datos estadísticos de las preguntas de los instrumentos utilizados durante la investigación hacia los sujetos.

8. Interpretación y síntesis

Se analizaron los resultados obtenidos y del contenido teórico, y se compararon con los objetivos de la investigación.

9. Conclusiones y recomendaciones

Se redactaron conclusiones que responden a los objetivos planteados para la investigación, y se recomendó ciertos aspectos a tomar en cuenta al momento de elegir materiales, tamaños y tecnología antes de la impresión 3D.

10. Referencias

Se enlistó todas las fuentes consultadas para la investigación, tanto libros como páginas web que fueron útiles para recabar la información necesaria que cumpliera con los objetivos de la investigación.

11. Anexos

Se colocaron los instrumentos utilizados para entrevistar a los sujetos.

D. Pruebas de laboratorio

Se realizaron pruebas en laboratorio para evaluar el comportamiento mecánico y físico de las estructuras impresas. Se podrían realizar ensayos como pruebas de compresión, flexión, tracción y fractura.

E. Análisis de resultados

Se analizaron los resultados de las pruebas y se compararán con los resultados de trabajos previos para identificar las fortalezas y debilidades de la técnica de impresión 3D FDM para construir estructuras de concreto.

F. Discusión y conclusiones

Se discutirán los resultados obtenidos y se ofrecerán conclusiones sobre la efectividad y viabilidad de la impresión 3D FDM para la construcción de estructuras de concreto.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades físicas del concreto con metodología de mampostería tradicional

La resistencia del concreto se evalúa principalmente mediante pruebas mecánicas, que pueden ser destructivas. Estas pruebas permiten ensayar repetidamente una muestra para estudiar la variación de su resistencia y otras propiedades a lo largo del tiempo. Para este propósito, se utilizan distintos tipos de muestras, como cilindros, cubos y prismas.

El ensayo de compresión constituye la contraparte del ensayo de tensión, diferenciándose en la dirección y el sentido del esfuerzo aplicado. Las razones generales que justifican la elección de un tipo de ensayo u otro se fundamentan en principios ya establecidos en la sección dedicada al ensayo de tensión, los cuales también resultan aplicables al ensayo de compresión.

No obstante, el ensayo de compresión presenta limitaciones particulares que requieren atención. Entre ellas destacan:

- La dificultad de aplicar una carga completamente concéntrica o axial.
- La tendencia a generar inestabilidad relativa en comparación con la carga tracción.
- La posibilidad de aparición de esfuerzos de flexión, los cuales se incrementan por irregularidades de alineación en la probeta, volviéndose más evidentes a medida que la carga progresa.

Asimismo, la fricción entre los apoyos de la máquina de ensayo y las superficies extremas de la probeta restringe su expansión lateral, lo que puede modificar significativamente los resultados obtenidos. Para garantizar la estabilidad de la probeta en este tipo de ensayos, se suelen emplear secciones transversales relativamente grandes. Esto exige el uso de máquinas de ensayo de alta capacidad o, en su defecto, probetas pequeñas que, por su corta longitud, dificultan la obtención de mediciones precisas de deformación.

En resumen, el ensayo de compresión tiene como objetivo fundamental analizar las propiedades intrínsecas del material, sin replicar de manera exacta el comportamiento de elementos estructurales como columnas. Por tal razón, el interés se centra en el bloque de compresión corto.

El método más ampliamente aceptado para determinar la resistencia mecánica a compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas. Estas se moldean en recipientes especiales de acero o hierro fundido, con dimensiones de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, manteniendo una relación diámetro-altura de 1:2.

1. Curado de cilindros

Una vez moldeado el espécimen, este debe almacenarse durante un período de hasta 48 horas en un ambiente con temperatura controlada entre 16 y 27 °C (60 y 80 °F), evitando la pérdida de humedad. En mezclas de concreto con resistencia especificada de 40 MPa (6000 psi) o superior, la temperatura de curado inicial debe mantenerse entre 20 y 26 °C (68 y 78 °F).

Dentro de los 30 minutos posteriores al desmolde, los especímenes deben curarse con agua libre mantenida en sus superficies, a una temperatura constante de 23.0 ± 2.0 °C (73.5 ± 3.5 °F). El transporte de los especímenes no debe realizarse antes de transcurridas 8 horas desde el fraguado final. Durante el traslado, se recomienda protegerlos con materiales adecuados de amortiguación para evitar daños por vibración o sacudidas. En condiciones de bajas temperaturas, deben emplearse materiales aislantes que eviten la congelación.

Para evitar la pérdida de humedad durante el transporte, los especímenes se envuelven en plástico o arpillera húmeda, o se rodean con arena mojada. Otra alternativa es asegurarlos firmemente con cabezales plásticos sobre moldes plásticos. En ningún caso, el tiempo de transporte debe exceder las 4 horas.

Para nivelar la superficie de los cilindros se recurre a la norma ASTM C617, que indica limpiar previamente el área y garantizar la ausencia de materiales aceitosos que impidan la adhesión del cabeceo. Cuando se utilizan morteros de azufre como material de nivelación, estos deben calentarse a temperaturas entre 130 y 145 °C (265 y 290 °F). Es fundamental que los morteros frescos se sequen adecuadamente para evitar la formación de espuma, y que no entren en contacto con agua durante su preparación.

El plato o dispositivo de cabeceo debe precalentarse antes de su uso para retardar el endurecimiento y permitir la formación de capas uniformes y delgadas. Además, el extremo del espécimen no debe aceitarse antes de colocar el cabeceo, ya que esto comprometería la adherencia.

Cuando se emplea un dispositivo vertical, el procedimiento consiste en verter el mortero sobre la superficie del plato, levantar el cilindro y colocarlo en las guías, deslizándolo hasta asegurar su contacto constante con el alineamiento.

Otra opción es recurrir a la norma ASTM C1231 para nivelar los especímenes con tapas no adheridas. En este caso, se emplean almohadillas de poli neopreno con un espesor de 13 ± 2 mm ($1/2 \pm 1/16$ pulg). Su diámetro no debe ser más de 2 mm (1/16 pulg) menor al del anillo retenedor de la tapa.

Finalmente, se empleó un espécimen de VELOSIT® RM 203, un mortero cementoso de fraguado acelerado, formulado para la reparación eficiente de diversos sustratos utilizados en la construcción. Este material genera superficies aptas para recibir revestimientos y capas adicionales. Entre sus aplicaciones destacan la reparación de defectos en concreto, mampostería, piedra natural y acero. Además, puede aplicarse tanto en superficies horizontales como verticales, incluyendo zonas en altura.

Dureza Shore A	Designación de la clasificación D2000
50	M2BC 514
60	M2BC 614
70	M2BC 714

Cuadro 2. Clasificación del neopreno (ASTM D2000)

2. Cálculos

$$\delta = \frac{p}{A}$$

Donde:

δ = Resistencia a la compresión (psi).

A = Área de espécimen (in^2).

p = Carga ejercida sobre espécimen, (lbf).

$$A = \pi r^2$$

Donde:

r = Radio de superficie de cilindro (psi).

$$\delta = \frac{21125.5 \text{ lbf}}{13.364 \text{ in}^2}$$

Para el espécimen de concreto premezclado de 3 ksi, dio:

$$\delta = 1580.772 \text{ psi}$$

Para el espécimen de VELOSIT® RM 203 dio:

$$\delta = \frac{29800 \text{ lbf}}{13.364 \text{ in}^2}$$

Para el espécimen de VELOSIT® RM 203, dio:

$$\delta = 2229.865 \text{ psi}$$



Figura 12. Especimen de concreto premezclado La Roca 3ksi

Fuente: Fotografía propia



Figura 13. Espécimen de VELOSIT® RM 203

Fuente: Fotografía propia

B. Propiedades físicas del concreto con metodología de impresión 3D

En el marco de la implementación de la tecnología de impresión en 3D de concreto en Guatemala, el ingeniero Herrera, quien ocupa el cargo de gerente de infraestructura y desarrollo en Cementos Progreso, ofrece una visión integral sobre los aspectos cruciales de este proceso innovador. Entre estos aspectos, resalta primordialmente el diseño de la mezcla para la impresión, destacando el continuo perfeccionamiento de múltiples diseños que han mostrado mejoras progresivas a lo largo del tiempo. Según Herrera, esta fase no solo implica la elaboración de una mezcla que sea adecuada para la impresión en 3D, sino que también implica un proceso iterativo que busca la optimización continua de dicha mezcla para garantizar resultados satisfactorios en términos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad durante el proceso de impresión.

Además, el ingeniero Herrera enfatiza la importancia del diseño arquitectónico en los proyectos de impresión en 3D de concreto. No se trata simplemente de diseñar estructuras de manera convencional, sino de tomar en cuenta las particularidades y limitaciones inherentes al proceso de impresión en 3D. Esto implica considerar aspectos como los radios de curvatura y los anchos mínimos que pueden ser logrados con la tecnología de impresión disponible. En este sentido, Herrera destaca la necesidad de una colaboración estrecha entre los arquitectos y los ingenieros especializados en impresión en 3D para asegurar que los diseños sean tanto estéticamente atractivos como factibles técnicamente.

En lo que respecta al diseño estructural, Herrera subraya la importancia de adaptar los diseños convencionales para aprovechar al máximo las ventajas que ofrece la tecnología de impresión en 3D. Una de las estrategias mencionadas es la optimización de la cantidad de concreto utilizada, mediante la reconfiguración estructural para reforzar únicamente elementos críticos como columnas, mochetas y vigas en las esquinas, lo que también conlleva a una reducción en el uso de acero secundario. Además, menciona la posibilidad de incorporar fibras metálicas al material de impresión como una forma de reducir la dependencia del acero y mejorar la eficiencia del proceso constructivo. Sin embargo, Herrera reconoce que esta etapa inicial implica ciertos riesgos y desafíos, por lo que enfatiza la necesidad de demostrar la viabilidad y eficacia de estas nuevas prácticas antes de avanzar hacia una implementación más generalizada.

En palabras de Herrera: "Es la etapa de demostrarnos a nosotros mismos que sí se puede, luego tocará venirse de regreso" (Comunicación personal, Herrera). Esta declaración refleja la mentalidad de prueba y aprendizaje que caracteriza a esta fase inicial de la implementación de la impresión en 3D de concreto en Guatemala, donde se busca validar y perfeccionar las técnicas y metodologías empleadas antes de su aplicación a gran escala. En resumen, el testimonio proporcionado por el ingeniero Herrera ofrece una visión detallada y perspicaz sobre los desafíos y oportunidades que enfrenta la implementación de la impresión en 3D de concreto en Guatemala, destacando la importancia de la

colaboración multidisciplinaria y la innovación continua en este campo emergente de la construcción.

1. Ensayo de flexión

Para este ensayo se utiliza la “NORMA COGUANOR NTG 41017 h8” utilizada para la determinación del esfuerzo de flexión en el concreto (utilizando una viga simplemente soportada con carga al centro de la luz).

Para el cálculo de módulo de rotura se utiliza, la siguiente expresión:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²).

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf).

L = Luz (longitud) entre soportes, mm (pulg).

b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

d = Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

El espécimen que se utilizó para el ensayo tiene dimensiones de 12 pulgadas de largo, 6 cm de ancho y 10 centímetros de alto, la carga ejercida sobre el espécimen fue de 903 lbf en el centro entre los apoyos simples.

2. Calculo

$$R = \frac{3 (903 \text{ lbf}) (12 \text{ in})}{2 (2.36 \text{ in}) (3.937 \text{ in})^2}$$

$$R = 6.127 \text{ MPa}$$

El resultado del módulo de rotura elaborado según la NTG 41017 h8 es de 6.127 MPa.



Figura 14. Prueba de flexión a espécimen impreso en 3D

Fuente: Fotografía propia

C. Comparativo de costos entre la mampostería tradicional y la impresión 3D de concreto

1. Mampostería tradicional

Costo de materiales

- Angular laminado en frío de 6 m de largo x 1/8" espesor de 1 1/4": Q144.74
- Alambre de acero calibre 16 (de amarre) quintal: Q162.77
- Arena de río metro³: Q136.44
- Piedrín de 3/8" metro³: Q115.28
- Material selecto metro³: Q119.27
- Concreto la roca 50kg 3000 Psi: Q39.95
- Concreto de MIXTO LISTO metro³: Q1,650.00

- Varilla de 3/8" grado 40 diámetro, largo 20', corrugado, legítimo quintal: Q124.05
- Varilla de 3/8" grado 60 diámetro, largo 20', corrugado, legítimo quintal: Q131.67
- Block de pómez de 14 x 19 x 39 cm, 25 kg ciento: Q112.52
- Salario de ayudante por mes: Q3,416.38
- Salario de albañil por mes: Q4,800.78
- Salario de maestro de obra: Q6,500.00

Salario de residente de proyecto por mes: Q11,000.00

2. Impresión 3D de Concreto:

Costo de equipo:

- Precio de la máquina: USD 400,000.00

Costo de materiales:

- Metro cúbico de material: Q2,000.00

Costo de mano de obra:

- Salario de operador por mes: Q6,500.00
- Salario de ayudante por mes: Q3,416.38

Para la elaboración de la comparativa de costos se procedió a hacer un pequeño modelo de una casa unifamiliar de dos habitaciones, un baño completo, un medio baño, sala, y cocina, con medidas de 7.20 metros de ancho y 10.46 metros de largo. Tiene un área habitable de 55.6 metros cuadrados.

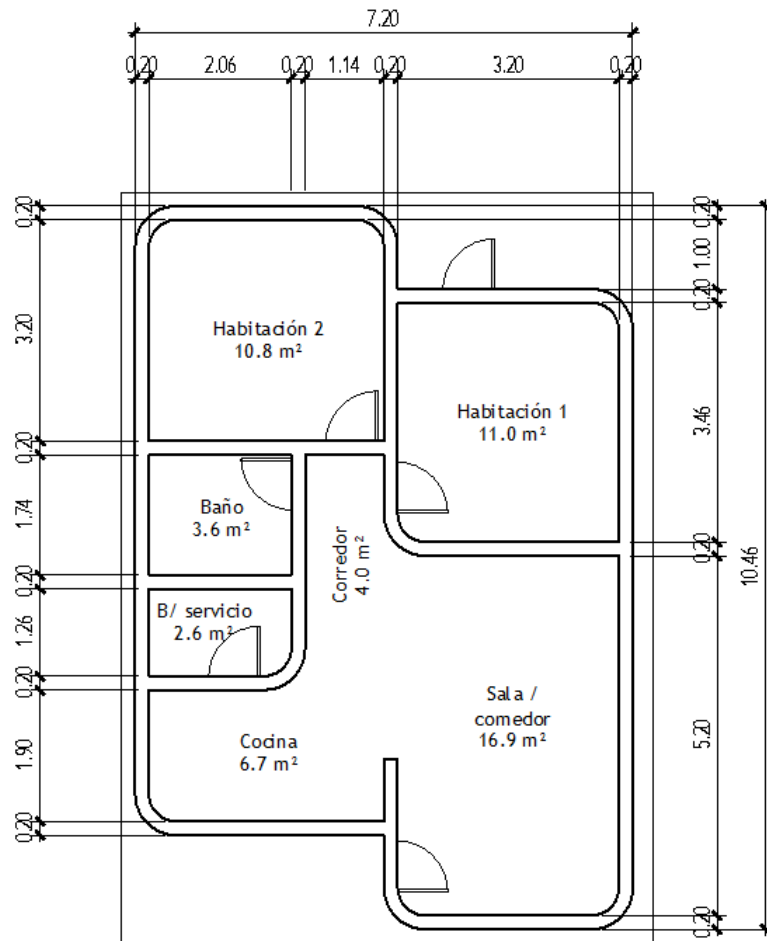


Figura 15. Plano de vivienda propuesta para análisis de costos

Fuente: Fotografía propia



Figura 16. Render 3D de vivienda propuesta para análisis de costos

Fuente: Fotografía propia

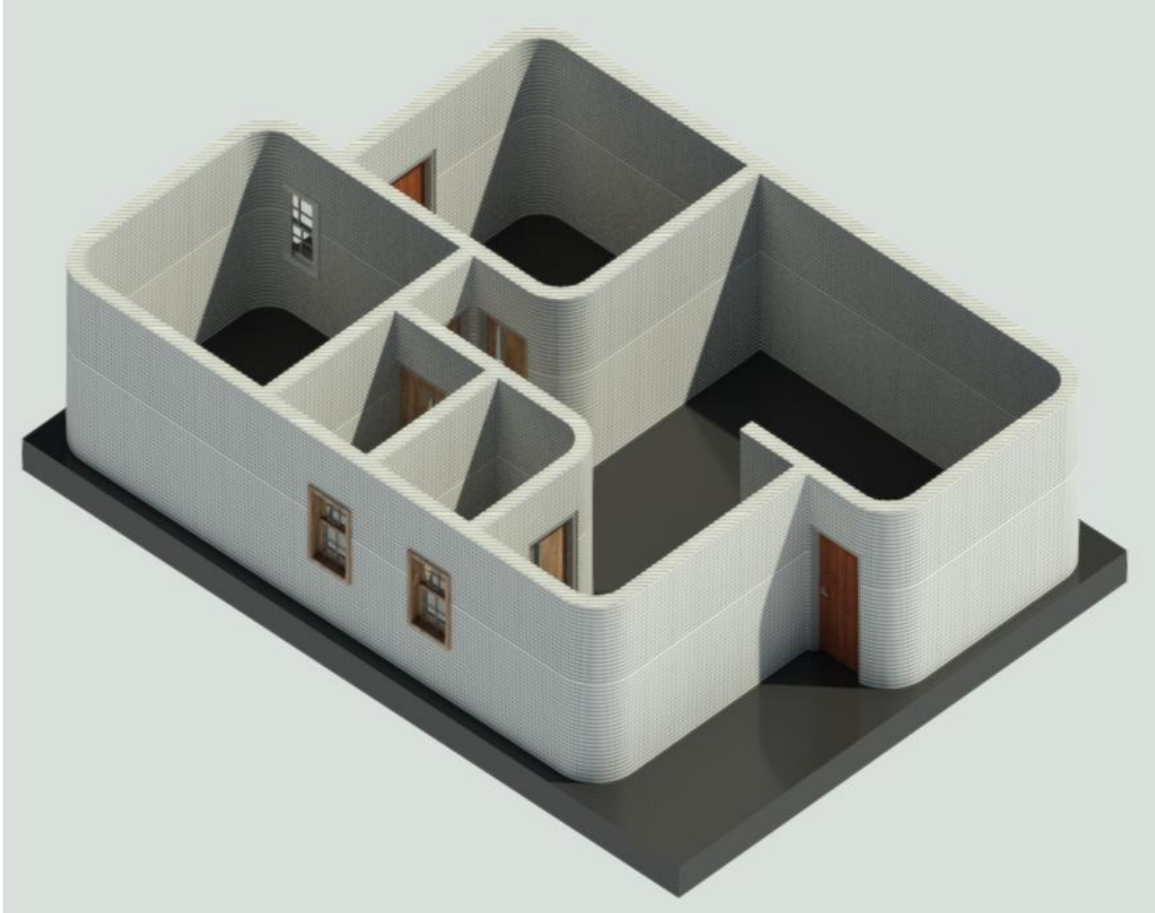


Figura 17. Render 3D con vista interna de la vivienda propuesta para análisis de costos

Fuente: Fotografía propia

El cuadro 3 detalla la estimación cuantitativa de materiales requeridos para la construcción, tomando como referencia las dimensiones y especificaciones detalladas en los planos arquitectónicos. Además de proporcionar una lista detallada de los materiales necesarios, se incluye también el costo asociado a cada uno de ellos, lo que permite una previsión más precisa de los gastos involucrados en la fase de construcción.

Es importante destacar que este cuadro está diseñado específicamente para la fase de obra gris de un proyecto construido utilizando la metodología de mampostería tradicional. Esta elección se fundamenta en la experiencia previa en proyectos similares, donde se ha comprobado la eficacia y fiabilidad de esta técnica constructiva.

Considerando el análisis de la obra y basándose en la experiencia de campo acumulada, se estima un tiempo de ejecución proyectado de 45 días para completar esta fase del proyecto. Es crucial tener en cuenta esta estimación temporal al planificar los recursos humanos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto, garantizando así un proceso fluido y eficiente que cumpla con los plazos establecidos y los estándares de calidad requeridos.

MAMPOSTERÍA			
TIPO	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
BLOCK	1916.25	Q3.95	Q7,569.19
CONCRETO PREMEZCLADO	41.73	Q1,650.00	Q68,854.50
CEMENTO	50	Q75.00	Q3,750.00
LEVANTAMURO	54.75	Q34.59	Q1,893.80
M/O ALBAÑIL	4	Q4,400.00	Q17,600.00
M/O AYUDANTE	4	Q3,416.38	Q13,665.52
M/O MAESTRO	1	Q6,500.00	Q6,500.00
VARILLA 1/4 6M	12	Q10.95	Q131.40
VARILLA 3/8 6M	24	Q29.76	Q714.24
ALAMBRE DE AMARRE	40	Q5.25	Q210.00
MADERA 1"12"X12'	20	Q150.00	Q3,000.00
ANDAMIOS	42.5	Q67.29	Q2,859.83
TOTAL			Q126,748.48
TIEMPO DE EJECUCIÓN	45		

Cuadro 3. Cotización de vivienda propuesta en mampostería para análisis de costos

Fuente: Cuadro propio

El cuadro 4 proporciona una estimación detallada de los materiales necesarios para la construcción, basándose en las especificaciones y dimensiones precisas delineadas en los planos de construcción. Además de enumerar los insumos requeridos, se presenta también el costo asociado a cada uno, facilitando así una planificación financiera rigurosa para la fase de construcción.

Es esencial destacar que este cuadro está específicamente adaptado para la fase de obra gris de un proyecto implementado con la tecnología de impresión 3D de concreto. Esta elección se fundamenta en los avances tecnológicos y las ventajas en términos de

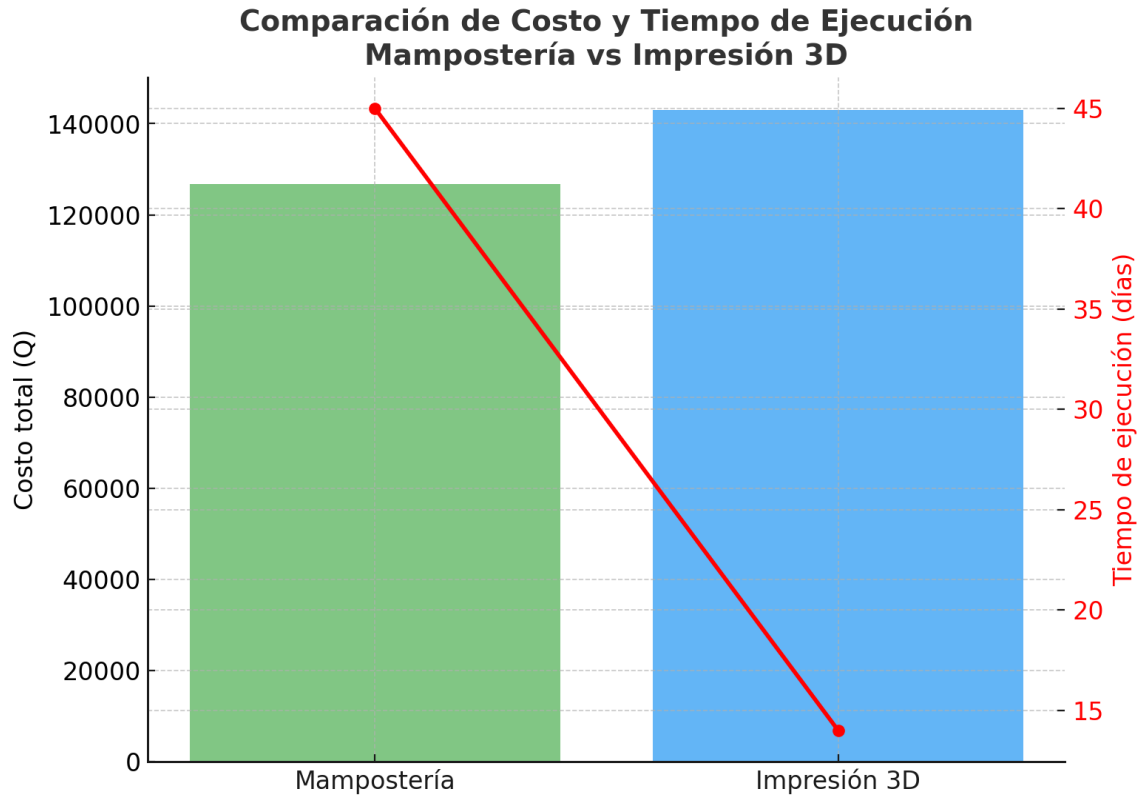
eficiencia y precisión que esta metodología ofrece, respaldada por evidencia empírica y casos de éxito en proyectos similares.

Al realizar un análisis del proyecto y considerar la posibilidad de utilizar dos turnos de trabajo operando 24 horas al día, se estima un tiempo de ejecución de siete días. Sin embargo, para una planificación más conservadora y garantizar la disponibilidad de recursos necesarios, se prevé un período de ejecución de catorce días en total. Esta estimación temporal es fundamental para coordinar eficientemente los recursos humanos y materiales, asegurando así un desarrollo fluido y oportuno del proyecto, en línea con los estándares de calidad más exigentes de la industria.

IMPRESIÓN 3D			
TIPO	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
MATERIAL DE IMPRESIÓN	28.36	Q2,000.00	Q56,720.00
M/O OPERADOR	1	Q4,000.00	Q4,000.00
M/O AYUDANTE	3	Q1,708.19	Q5,124.57
M/O MEZCLADOR	1	Q2,750.00	Q2,750.00
MAQUINA DÍA	14	Q109.51	Q1,533.14
CONCRETO PREMEZCLADO	41.73	Q1,650.00	Q68,854.50
ELECTROMALLA 10/10 2.35X6 m	16.67	Q175.00	Q2,917.25
VARILLA 1/4 6 m	104	Q10.95	Q1,138.80
TOTAL			Q143,038.26
TIEMPO DE EJECUCIÓN	14 DÍAS		

Cuadro 4. Cotización de vivienda propuesta en Impresión 3D para análisis de costos

Fuente: Cuadro propio



Cuadro 5. gráfica comparativa de tiempo y costos entre ambas metodologías

Fuente: Cuadro propio

Al comparar los dos métodos de construcción para el proyecto en cuestión, se evidencia una diferencia significativa tanto en términos de costo como de tiempo de ejecución. Según nuestras estimaciones, la impresión 3D de concreto presenta un costo total de Q141,898.93, con un tiempo de ejecución proyectado de siete días utilizando dos turnos de trabajo operando 24 horas al día. Por otro lado, la mampostería tradicional muestra un costo ligeramente superior de Q164,842.93, con un tiempo de ejecución proyectado de cuarenta y cinco días. Esta comparativa resalta la eficiencia y economía de la impresión 3D de concreto, lo que la convierte en una opción atractiva para proyectos que requieren rapidez y eficacia en su construcción.

D. Resultados de entrevistas sobre los beneficios y limitaciones de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Guatemala

Se llevó a cabo una entrevista con el arquitecto Pablo González, residente de proyectos en la Constructora E4, para explorar su perspectiva sobre la implementación de la tecnología de impresión 3D de concreto en el sector de la construcción en Guatemala. A continuación, se presentan las preguntas realizadas y las respuestas proporcionadas:

1. ¿Podrías describir brevemente tu experiencia en el campo de la construcción y los métodos tradicionales que has utilizado?

Respuesta: "Actualmente cuento con 4 años de trabajar dentro de la construcción, específicamente en el área residencial y durante este proceso me he adentrado en los métodos constructivos tradicionales, así como en las nuevas tecnologías que nos apoyan en distintos puntos de la construcción."

2. ¿Qué opinas sobre la tecnología de impresión 3D de concreto para la construcción de viviendas en comparación con los métodos tradicionales que has empleado?

Respuesta: "Considero que es un método innovador, que nos puede beneficiar en temas como el tiempo y una mejor proyección en el costo de mano de obra, adicional que nos abre una puerta grande para trabajar con diseños más orgánicos y formas más naturales en la construcción."

3. ¿Has escuchado hablar sobre la impresión 3D de concreto antes de esta entrevista? Si es así, ¿qué conocimientos tienes al respecto?

Respuesta: "Lo he visto en documentales, videos y en redes sociales un par de comentarios, adicional leí un reportaje que ya está la maquinaria en Guatemala para la implementación. Sobre mi conocimiento del tema, es muy a grandes rasgos, sé cómo funciona, más no qué tipo de concreto y resistencia se utiliza, por ejemplo."

4. ¿Cuáles son, en tu experiencia, los principales desafíos o problemas que enfrentas durante el proceso de construcción utilizando métodos tradicionales?

Respuesta: "El control de gasto de mano de obra, los tiempos de construcción, pues dependen de la experiencia del albañil y la calidad del acabado."

5. ¿Cómo crees que la impresión 3D de concreto podría abordar algunos de los desafíos que has mencionado en la construcción tradicional?

Respuesta: "Considero que estandarizaría los costos y el tiempo, nos aseguraría una mejor calidad, y nos beneficiaría en proyecciones generales más exactas."

6. ¿Tienes alguna preocupación o escepticismo sobre la implementación de la tecnología de impresión 3D de concreto en proyectos de construcción?

Respuesta: "Como todo tema, considero que hay que abordarlo completamente para poder experimentarlo y aplicarlo, generalmente en Latinoamérica culturalmente tenemos muchos paradigmas, pero cuando se trata de beneficio para nosotros lo aprovechamos al máximo."

7. ¿Qué aspectos crees que podrían mejorar o cambiar en tu trabajo diario si incorporaras la impresión 3D de concreto en tus proyectos de construcción?

Respuesta: "Podríamos disminuir los reprocesos, teniendo una mejor calidad desde el inicio, y poder terminar los proyectos en menor tiempo."

8. ¿Qué te gustaría saber o aprender sobre la impresión 3D de concreto para sentirte más cómodo y confiado al considerar su uso en futuros proyectos de construcción?

Respuesta: "Quisiera saber qué tanto acceso hay para proyectos independientes, cuáles son los puntos básicos para la implementación, como tamaño de maquinaria dentro del proyecto, movilidad de la misma, si es un servicio dado por una empresa, y esta incluye los ayudantes o si es un costo global por proyecto."

9. ¿Consideras que la impresión 3D de concreto podría ser una opción viable para abordar la demanda de viviendas más asequibles y eficientes en tu área?

Respuesta: "Perfectamente, para un complejo residencial con un número alto de casas, nos ayudaría a estandarizar la calidad, a mejorar los tiempos de obra gris y trabajar de una forma más ordenada."

10. ¿Cómo crees que la introducción de la tecnología de impresión 3D de concreto podría impactar en términos de tiempo, costos y calidad en comparación con los métodos de construcción tradicionales que has utilizado?

Respuesta: "En mi percepción sin conocer tanto del tema, considero que ha de ser un mayor costo, sin embargo, considero que podría disminuirse hasta la mitad el tiempo de ejecución, y asegurar que la calidad quedara bien a la primera."

Después de haber realizado entrevistas con diversos expertos en el campo de la construcción en Guatemala, se obtuvieron valiosas perspectivas sobre la implementación de la tecnología de impresión 3D de concreto en el sector. En este sentido, destaca la entrevista con el ingeniero Herrera, gerente de infraestructura y desarrollo de Cementos Progreso, cuyos conocimientos y experiencias ofrecen una visión detallada sobre los desafíos, ventajas y potenciales aplicaciones de esta innovadora tecnología en el contexto guatemalteco. A continuación, se presenta un extracto de dicha entrevista, donde el ingeniero Herrera proporciona insights cruciales sobre el costo, la calidad estructural, los desafíos técnicos y los avances futuros relacionados con la impresión 3D de concreto.

1. En comparación con los métodos de construcción tradicionales ¿Cómo describiría el costo por metro cuadrado a las viviendas construidas utilizando la tecnología de la impresión 3D de concreto?

Respuesta: "Yo digo que de momento estamos pasados pero el reto es hacerlo competitivo por lo menos hacerlo competitivo porque ya sabemos que donde está la ventaja de este sistema es en la velocidad."

2. ¿Cuáles son los principales factores que contribuyen en el costo por metro cuadrado en proyectos de construcción utilizando la impresora?

Respuesta: "Yo diría que el acero de refuerzo es uno por ser zona sísmica... En zona sísmica sería el acero de refuerzo y la configuración estructural que no está optimizada de momento estamos haciendo prácticamente un muro de concreto reforzado que no es el final de la historia ahora estamos a medio."

3. ¿Ha experimentado una reducción significativa en los costos de mano y obra al utilizar la impresión 3D de concreto?

Respuesta: "No le podría decir así con números, pero sí, efectivamente participa menos personal que en una construcción, pero todavía no hemos terminado de hacer proyectos tenemos un par de por proyectos o prototipos completados, pero sí, la cantidad de gente usada es menor, pero eso se verá más adelante conforme se vayan haciendo más proyectos."

4. ¿Qué opinión tiene sobre la calidad estructural de las viviendas construidas mediante esta tecnología en comparación con las tradicionales?

Respuesta: "Pues yo diría que de momento la miro muy bien o inclusive mejor porque en este momento estamos sobre diseñando estamos pasados a lo que se requiere yo creo que es una pregunta que tenemos que respondernos cómo vamos a optimizar el diseño estructural para hacerlo más eficiente menos costoso esa es una parte importante de lo que falta."

5. ¿Cree que la impresión 3D de concreto podría ser una solución viable para reducir la brecha de vivienda en áreas donde los costos de construcción son un factor limitante?

Respuesta: "Yo creo que es posible digamos que realmente en este momento todavía no pero yo creo que eso va a suceder en el tiempo sobre todo que los costos de mano de obra van a ir incrementando va a ser cada vez más escaso entonces la respuesta es parcial no en este momento porque es obvio pero va hacia ese camino."

6. ¿Se llevan a cabo pruebas de compatibilidad entre los materiales de impresión 3D y los aditivos utilizados?

Respuesta: "Tanto como la compatibilidad digamos que usamos los que normalmente se usan para concreto. Perfecto."

7. ¿Cómo considera que la tecnología puede influir en la velocidad de construcción de viviendas en comparación a metodologías tradicionales?

Respuesta: "Sí, definitivamente."

8. ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrenta actualmente la adopción generalizada de la tecnología en el sector de la construcción de Guatemala?

Respuesta: "Yo diría que primero el tema de la novedad, que es nuevo entonces siempre a lo nuevo se le tienen reservas entonces decir bueno, sí muy bonito y todo pero será que funciona, será que no se me va a caer entonces un poco es la percepción del público y otra parte importante es digamos no sé ir colocando los refuerzos, las instalaciones al mismo tiempo que se va imprimiendo creo que es un tema que hay que resolver y que estamos tratando de resolver en el camino nosotros pero creo que esa es la percepción del mercado y también el ir modificando un poco las digamos a lo que estamos acostumbrados hoy en día en cuanto a instalaciones y refuerzos que hay que irlo haciendo al mismo tiempo que la impresión. Bien, con eso me contestó la siguiente."

9. ¿Existen normativas específicas en Guatemala que regulen el uso de la tecnología de impresión?

Respuesta: "Todavía no. Todavía no hay nada en muchos lugares casi que en el mundo es pocos lugares donde están trabajando en eso."

10. ¿Cuáles son las principales diferencias entre la metodología tradicional de mampostería y la impresión 3D en concreto?

Respuesta: "Yo digo que parte es la industrialización de la mecanización de la construcción digamos que aquí se usa quizá menos mano de obra o cambia un poco la mano de obra en sus habilidades son de otro tipo son más de tipo mecanizado, industrializado computarizado digamos que en eso cambia digamos que hay más uso de equipo mecánico, industrializado equipos como montacargas grúas o este tipo de cosas que son más como tirado a la a la construcción prefabricada que usa más industrialización también la mano de obra es especializada quizá no solo en temas de albañilería y carpintería y eso sino también hacia la electrónica, mecánica también."

11. ¿Cuáles son los principales desafíos técnicos que enfrentan al trabajar con impresión 3D en concreto?

Respuesta: "Sí, creo que mencionaba un poco creo que es el refuerzo es la colocación del refuerzo nosotros que estamos en zona sísmica en otros países donde la zona sísmica es más benigna digamos o la actividad sísmica es más benigna pues no tienen tantas complicaciones con el refuerzo nosotros sí tenemos, porque es bastante y hay que ir ajustando la impresión que no tope la impresora con el acero, etc. porque está más concentrado podríamos decir. Ok ya me la contestó si no va a ser que repita."

12. ¿Cuáles son las aplicaciones más innovadoras que han visto o imaginan poder hacer con la impresión 3D?

Respuesta: "Sí, digamos empezamos pensando en módulos de vivienda pero eso nos llevó a otras cosas no deja de ser interesante el tema de vivienda sobre todo si se logra hacer más eficiente el movimiento de la impresora de un lugar a otro que también es uno de los retos solventando esto creo que se incrementa la rapidez pero también hay otros mercados como el de la fabricación de elementos urbanos o mobiliario urbano que son campos que se pueden explorar también con esta tecnología o solucionar con esta tecnología ok."

13. ¿Cómo evalúa la resistencia y la durabilidad de las estructuras construidas mediante la impresión 3D?

Respuesta: "Bueno, como es un material cementante al final de cuentas no es tan diferente como se hace con un concreto convencional se mide la resistencia, la adherencia la resistencia al módulo de rotura ese tipo de cosas creo que es básicamente muy similar por ser materiales de la misma familia porque son concretos al final de cuentas. Ok, de aquí en 5 años ¿Qué avances espera tener en la impresión 3D? Yo creo que el avance va a estar en la optimización de la solución y me refiero no solo al material porque ese es uno optimizar el material que se tiene ahorita eso va a mejorar y también va a mejorar el tema de la configuración estructural por ejemplo se va a tener más idea de cómo sacar más provecho de la tecnología en la estructura digamos ahorita estamos haciendo una estructura muy convencional prácticamente un muro reforzado eso en 5 años ya tiene que haber avanzado a solo optimizar y colocar acero y llenar con concreto en donde es necesario ok."

14. ¿Cómo compararía los costos de inversión inicial y los costos operativos a largo plazo entre impresión 3D de concreto y los métodos tradicionales de construcción?

Respuesta: "Es decir, casi que ya no toman en cuenta la inversión inicial de la máquina sino que ya en costos operativos sí, yo digo que en costos operativos ya de per se yo lo veo como que tal vez no en este momento pero si en el tiempo esos costos deberían ser mucho más baratos ¿verdad? como les decía en algunas preguntas anteriores el concepto de la construcción va a cambiar un poco se va a volver más mecanizado, industrializado entonces, piezas a la medida digamos el acero se debe cortar, tener preparado igual que las instalaciones para ir las colocando entonces todo eso hace que esta tecnología avance más rápido y sea más eficiente que digamos que la que la tecnología actual. Ok, la última pregunta

15. ¿Qué métodos se emplean para evaluar la adherencia entre las capas de concreto en una estructura impresa en 3D?

Respuesta: "Si, hay unos ensayos que se le hacen en el laboratorio, aquí nosotros hacemos ensayos de resistencia, pero también de adherencia entre capas no recuerdo ahorita el número de la norma que usamos, pero si es una normativa reconocida por ASTM para medir la adherencia entre capas creo que es como un sistema de pull out que se usa para medirla"



Figura 18. Foto de el primer proyecto de vivienda hecho por Cementos Progreso

Fuente: Fotografía propia



Figura 19. Vista de composición interna de cámara de aire impresa en 3D

Fuente: Fotografía propia

E. Adversidades climáticas y estratigráficas de la tecnología en el país.

En primer lugar, se destaca la importancia de considerar las condiciones climáticas locales al implementar esta tecnología. Guatemala experimenta variaciones climáticas significativas, que incluyen altas temperaturas, humedad y una temporada de lluvias pronunciada. Estas condiciones pueden tener un impacto directo en la durabilidad y resistencia de las estructuras de concreto impreso en 3D. Por ejemplo, se menciona que la exposición a la humedad y la lluvia puede afectar la calidad del concreto y requerir medidas adicionales para garantizar la resistencia a la intemperie.

Además, se discute el desafío logístico que representa el movimiento de la impresora 3D en el sitio de construcción. Se señala que el traslado de la máquina puede llevar varias horas y que esto puede ser especialmente complicado en condiciones climáticas adversas, como durante la temporada de lluvias. Esta consideración resalta la necesidad de planificar cuidadosamente el proceso de construcción y tener en cuenta las condiciones climáticas locales para garantizar la eficiencia y la seguridad en el trabajo.

En cuanto a las adversidades estratigráficas, se menciona que el tipo de suelo en el área de construcción puede presentar desafíos adicionales. Se hace referencia a la necesidad de sustituir material en algunas áreas debido a suelos inadecuados, lo que puede afectar la planificación y los costos del proyecto. Esto sugiere que es fundamental realizar un estudio detallado del suelo y tomar medidas apropiadas de cimentación para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras construidas mediante esta tecnología.

F. Técnicas de construcción utilizadas en el país

En Guatemala, las metodologías de construcción tradicionales reflejan una rica amalgama de técnicas ancestrales adaptadas a las condiciones geográficas, climáticas, culturales y económicas del país. Estas prácticas, arraigadas en la historia y transmitidas de generación en generación, continúan siendo fundamentales en la edificación de una amplia gama de estructuras, desde viviendas rurales hasta edificios comerciales y religiosos.

Una de las técnicas más extendidas es el uso de la mampostería de ladrillo o bloque de cemento, unida con mortero de cemento y arena. Esta técnica, que ha perdurado a lo largo de los años, se destaca por su versatilidad y resistencia, siendo aplicada en la construcción de paredes portantes y divisorias. La disponibilidad local de materiales como el barro, la piedra y la cal ha facilitado su uso, especialmente en áreas donde la modernización de la construcción aún no ha llegado.

Otro método tradicional ampliamente utilizado es el hormigón armado, que combina estructuras de acero reforzado con hormigón para crear elementos estructurales

robustos. Esta técnica se emplea en la construcción de columnas, vigas y losas, proporcionando estabilidad y resistencia ante las fuerzas sísmicas que son frecuentes en la región. Aunque requiere de un mayor conocimiento técnico y de recursos, su aplicación se extiende tanto a proyectos de vivienda como a obras de infraestructura más complejas.

La madera y el bambú también juegan un papel importante en la construcción tradicional guatemalteca, especialmente en zonas rurales donde estos materiales son abundantes. Se utilizan para la elaboración de techos, paredes y estructuras auxiliares, ofreciendo una alternativa económica y sostenible a las soluciones de construcción convencionales. Además, su flexibilidad y resistencia las convierten en opciones viables para adaptarse a las condiciones climáticas variables del país.

Es relevante señalar que, si bien estas técnicas tradicionales siguen siendo ampliamente utilizadas, la influencia de métodos de construcción modernos y la introducción de nuevas tecnologías están transformando gradualmente el panorama de la industria.

G. Análisis de resultados

La implementación de la impresión 3D de concreto para la construcción de viviendas en el área de San Antonio La Paz, El Progreso, Guatemala, no solo implica desafíos técnicos, sino también desafíos sociales, económicos y medioambientales que deben abordarse de manera integral para lograr resultados exitosos y sostenibles.

Desde una perspectiva técnica, la impresión 3D de concreto ofrece varias ventajas potenciales en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Por ejemplo, permite la creación de estructuras complejas y personalizadas con mayor facilidad y precisión, lo que puede ser especialmente beneficioso para la construcción de viviendas con diseños innovadores y adaptados a las necesidades específicas de la comunidad. Además, al optimizar el uso de materiales y reducir los residuos de construcción, la impresión 3D de concreto puede contribuir a la sostenibilidad ambiental y ayudar a mitigar los impactos negativos asociados con la construcción convencional.

Sin embargo, para aprovechar al máximo estas ventajas, es crucial abordar una serie de desafíos técnicos y logísticos. Por ejemplo, se debe desarrollar una mezcla de concreto adecuada que sea compatible con el proceso de impresión 3D y cumpla con los estándares de resistencia y durabilidad requeridos para las viviendas. Además, se deben optimizar los parámetros de impresión, como la velocidad de deposición y la configuración de capas, para garantizar la calidad y la integridad estructural de las estructuras impresas. La capacitación del personal también es fundamental para garantizar la operación segura y eficiente de las impresoras 3D y minimizar el riesgo de errores durante el proceso de construcción.

Además de los desafíos técnicos, la implementación de la impresión 3D de concreto en el contexto guatemalteco también plantea desafíos sociales y económicos que deben abordarse de manera cuidadosa y estratégica. Por ejemplo, es importante considerar cómo esta tecnología puede afectar el empleo en la industria de la construcción y cómo se pueden mitigar los posibles impactos negativos en los trabajadores tradicionales. Asimismo, se deben explorar oportunidades para promover la participación de la comunidad local en el proceso de construcción y fomentar la apropiación de la tecnología a nivel comunitario.

Desde una perspectiva económica, la implementación de la impresión 3D de concreto tiene el potencial de reducir significativamente los costos de construcción a largo plazo, especialmente en términos de mano de obra y materiales. Sin embargo, es importante tener en cuenta los costos iniciales asociados con la adquisición y la instalación de las impresoras 3D, así como los costos de mantenimiento y operación a lo largo del tiempo. Se deben realizar análisis de costo-beneficio detallados para evaluar la viabilidad económica de esta tecnología en el contexto local y garantizar que las inversiones realizadas generen retornos positivos tanto para los inversionistas como para la comunidad en general.

En cuanto a los desafíos medioambientales, la implementación de la impresión 3D de concreto tiene el potencial de reducir el consumo de recursos naturales y minimizar los residuos de construcción en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Sin embargo, también es importante considerar el ciclo de vida completo de los materiales utilizados en el proceso de impresión 3D, desde la extracción de materias primas hasta la

eliminación de desechos, para evaluar su impacto ambiental total. Se deben explorar estrategias para mejorar la sostenibilidad de la cadena de suministro de materiales y minimizar los impactos negativos en el entorno natural y la salud humana.

1. Análisis de resultados a entrevista con Cementos Progreso

La entrevista proporciona una visión detallada del proceso de investigación y desarrollo llevado a cabo por el departamento encargado de la impresión 3D de concreto en Cementos Progreso. Desde los primeros experimentos con una impresora de escritorio adaptada para imprimir morteros hasta la adquisición de una impresora de mayor escala, se evidencia el compromiso de la empresa con la exploración de tecnologías innovadoras para el sector de la construcción.

El ingeniero Herrera, gerente de investigación y desarrollo de CEMPRO, destaca los retos enfrentados debido al presupuesto limitado y la necesidad de adaptarse a nuevas metodologías y equipos. El proceso de investigación ha implicado la experimentación con diversas mezclas de morteros y concretos, así como la colaboración con proveedores y empresas especializadas en tecnología de impresión 3D.

El enfoque principal del proyecto ha sido el desarrollo de la tinta cementante adecuada para la impresión, lo cual ha requerido la exploración de múltiples fórmulas y la consulta de literatura especializada. Además, se ha buscado validar la factibilidad tecnológica y constructiva de la impresión 3D de concreto mediante la realización de pruebas y proyectos piloto, como la construcción de un mirador y una sala de reuniones.

El proceso de impresión ha enfrentado desafíos como la necesidad de reforzar las estructuras con acero y la dificultad para lograr acabados uniformes en las piezas impresas. A pesar de estos obstáculos, se han logrado avances significativos, como la impresión exitosa de viviendas de hasta 49 metros cuadrados de área habitable.

Sin embargo, el proyecto aún se encuentra en una etapa de desarrollo y perfeccionamiento, con el objetivo de optimizar los procesos de impresión, reducir los costos y mejorar la calidad de las estructuras construidas. El equipo de investigación y

desarrollo continúa trabajando en la mejora de las mezclas de materiales y en la implementación de nuevas tecnologías para alcanzar sus objetivos de construcción de viviendas más asequibles y eficientes.

2. Análisis de costos de tecnología

En primer lugar, el costo inicial de la máquina de impresión 3D de concreto es un factor importante para considerar. Según el Ing. Herrera, este costo se estima en alrededor de USD 400,000.00, lo que representa una inversión considerable para cualquier proyecto de construcción. Esta cifra refleja la adquisición de la maquinaria necesaria para llevar a cabo el proceso de impresión, que es fundamental para la implementación exitosa de esta tecnología. Asimismo, refleja el costo del envío a Guatemala, asimismo las capacitaciones que los proveedores brindan al personal necesario.

Además del costo de la máquina en sí, también se debe considerar el costo de los materiales de impresión 3D. Según el texto, estos materiales tienen un precio estimado de alrededor de Q2,000.00 por metro cúbico. Este costo incluye el material utilizado para la impresión de las estructuras, como el concreto especializado necesario para garantizar la calidad y durabilidad de los elementos construidos.

Otro aspecto relevante es el costo de la mano de obra. Aunque la tecnología de impresión 3D de concreto puede reducir significativamente la necesidad de mano de obra en comparación con los métodos de construcción tradicionales, todavía se requiere personal para operar y supervisar el proceso. Según lo investigado, el proceso requiere un operador, un mezclador y algunos ayudantes, en comparación con un equipo más grande necesario para la construcción tradicional.

A pesar de los costos iniciales significativos asociados con la tecnología de impresión 3D de concreto, existen beneficios potenciales en términos de ahorro a largo plazo. La reducción en la necesidad de mano de obra y materiales puede conducir a una mayor eficiencia y ahorro de costos en proyectos a gran escala. Además, la velocidad de

construcción mejorada y la capacidad para realizar diseños más complejos pueden generar beneficios adicionales en términos de tiempo y dinero.

3. Análisis de comparativo de costos entre mampostería e impresión 3D

El análisis comparativo entre los dos métodos de construcción, mampostería tradicional e impresión 3D de concreto, revela diferencias significativas en términos de costo y tiempo de ejecución. Según las estimaciones realizadas en el apartado C de la sección de resultados de la presente investigación, La impresión 3D de concreto presenta un costo total de Q143,037.74, mientras que la mampostería tradicional tiene un costo total de Q126,748.48, según la estimación con 4 albañiles y 4 ayudantes. Esto evidencia que, en el escenario actual, la impresión 3D continúa siendo más costosa en términos económicos directos.

Además del aspecto financiero, el tiempo de ejecución es un factor crucial para considerar en cualquier proyecto de construcción. Mientras que la impresión 3D de concreto ofrece un tiempo de construcción notablemente reducido, con una proyección de siete días de ejecución utilizando dos turnos de trabajo operando 24 horas al día, la mampostería tradicional demanda un período de construcción más extenso, con un tiempo proyectado de cuarenta y cinco días.

Esta comparativa subraya la ventaja en eficiencia y economía de la impresión 3D de concreto sobre la mampostería tradicional. La tecnología de impresión 3D emerge como una alternativa atractiva para proyectos que requieren rapidez y eficacia en su ejecución, ofreciendo no solo ahorros significativos en costos, sino también una reducción sustancial en el tiempo necesario para completar la fase de construcción.

Al desglosar los componentes de la mano de obra, se evidencia que la impresión 3D de concreto requiere un equipo más reducido en comparación con la mampostería tradicional.

Para la impresión 3D de concreto, el equipo de trabajo incluye un operador especializado en el manejo de la impresora 3D, un mezclador encargado de preparar la

mezcla de concreto adecuada para la máquina, y tres ayudantes para asistir en diversas tareas. En total, este equipo consta de cinco personas.

Por otro lado, el método de mampostería tradicional demanda un equipo más extenso, con ocho albañiles encargados de la colocación de los ladrillos o bloques, diez ayudantes para apoyar en labores diversas, y un maestro de obra para supervisar y coordinar el trabajo del equipo. Además, es importante tener en cuenta otros roles como el residente de obra, el personal encargado de la seguridad y salud ocupacional (SSO), el bodeguero, entre otros, que añaden una capa adicional de recursos humanos y costos asociados (que no se tomaron en cuenta en el análisis de costos).

Esta diferencia en la cantidad de mano de obra necesaria entre los dos métodos tiene un impacto significativo en los costos totales del proyecto. Mientras que la impresión 3D de concreto requiere un equipo más compacto y especializado, lo que se traduce en menores costos laborales, la mampostería tradicional demanda un equipo más grande y diversificado, lo que contribuye a un aumento en los costos asociados con la mano de obra.

En consecuencia, además de los beneficios en términos de eficiencia y economía en los materiales, la impresión 3D de concreto también ofrece una ventaja competitiva en cuanto a la gestión, optimización de la mano de obra y logística de manejo de personal, lo que contribuye a la reducción global de costos en comparación con la mampostería tradicional.

4. Limitaciones

1. Limitaciones regulatorias y técnicas

- Normativas y regulaciones: según la entrevista con Herrera, Guatemala aún carece de un marco regulatorio claro para la construcción con tecnología de impresión 3D de concreto. Esto implica que los desarrolladores y contratistas enfrentan incertidumbre en cuanto a los permisos y requisitos legales para utilizar esta tecnología en proyectos de construcción.

- Capacitación y experiencia: los resultados obtenidos por medio de entrevistas se resalta la necesidad de capacitación especializada para operar equipos de impresión 3D de concreto de manera efectiva. La falta de programas de capacitación y experiencia en el manejo de esta tecnología puede limitar su adopción generalizada en la industria de la construcción guatemalteca.

2. Barreras de infraestructura y tecnológicas

- Dependencia de la infraestructura: además de las limitaciones regulatorias, la implementación exitosa de la impresión 3D de concreto requiere una infraestructura de apoyo sólida, incluida la disponibilidad de energía eléctrica confiable y acceso a materiales de construcción de calidad. En muchas áreas de Guatemala, especialmente en zonas rurales, la infraestructura básica puede ser deficiente, lo que dificulta la adopción de tecnologías avanzadas como la impresión 3D de concreto.
- Costos de inversión inicial: si bien la impresión 3D de concreto puede ofrecer eficiencias significativas en el tiempo de construcción y la mano de obra, el alto costo inicial del equipo y la tecnología puede ser una barrera importante para muchos desarrolladores y contratistas en Guatemala. Esto se ve reflejado en el comparativo de costos, donde los precios de la maquinaria y los materiales asociados son significativamente más altos que los de la mampostería tradicional.

5. Perspectivas futuras

A pesar de estas limitaciones, es importante reconocer el potencial de la impresión 3D de concreto para transformar la industria de la construcción en Guatemala a largo plazo. Con el desarrollo de normativas claras, programas de capacitación adecuados y mejoras en la infraestructura, es posible que esta tecnología pueda desempeñar un papel más importante en la construcción de viviendas y otras estructuras en el país en el futuro.

6. Aplicaciones híbridas de impresión 3D y concreto en Guatemala

En Guatemala, la tecnología de impresión 3D de concreto no se emplea en su forma tradicional, sino que se utiliza más comúnmente para crear formaletas que luego se llenan con concreto. Este enfoque híbrido combina la versatilidad de la impresión 3D con la resistencia y durabilidad del concreto tradicional. Aunque esta técnica puede ofrecer algunas mejoras en eficiencia y calidad de construcción, es importante tener en cuenta que todavía existen limitaciones en términos de costos y tiempos de construcción. La necesidad de crear formaletas implica costos adicionales asociados con la impresión 3D, como el material para las formaletas y el tiempo de impresión necesario para fabricarlas.

Al evaluar el comparativo de costos entre la mampostería tradicional y el uso de formaletas creadas mediante impresión 3D, es fundamental considerar estos factores adicionales. Aunque la impresión 3D puede ofrecer ciertas ventajas en términos de precisión y diseño, los costos asociados con la tecnología de impresión y la fabricación de formaletas deben ser cuidadosamente evaluados para determinar su viabilidad económica en comparación con los métodos tradicionales.

Dado el estado emergente de la tecnología en Guatemala, es importante que los desarrolladores y contratistas evalúen constantemente su viabilidad económica y técnica en comparación con los métodos de construcción tradicionales. Esto incluye no solo considerar los costos directos de la tecnología de impresión, sino también su impacto en los tiempos de construcción, la calidad del producto final y la disponibilidad de mano de obra capacitada.

A medida que la tecnología continúa desarrollándose, es fundamental que Guatemala fomente la innovación y la investigación en este campo. Esto puede incluir el apoyo a programas de capacitación en impresión 3D, la promoción de alianzas entre la academia y la industria, y la creación de incentivos para la adopción de tecnologías avanzadas en la construcción.

7. Análisis de prueba de flexión a concreto de impresión 3D

Para empezar, es relevante destacar que el concreto impreso en 3D es un material relativamente nuevo en el campo de la construcción, y su comportamiento mecánico está siendo continuamente investigado y refinado. Un resultado de 6.127 MPa sugiere que el concreto impreso en 3D sin refuerzo posee una resistencia a la flexión moderada. Sin embargo, es importante considerar que la resistencia a la flexión del concreto convencional suele ser considerablemente mayor, típicamente en el rango de 3 a 7 de MPa.

El resultado de 6.127 MPa en la prueba de flexión para una muestra de concreto impreso en 3D sin refuerzo es notable y sugiere una resistencia a la flexión relativamente alta en comparación con los valores típicos de resistencia a la flexión para el concreto convencional. Esto es particularmente significativo dado que la tecnología de impresión 3D de concreto aún está en una etapa temprana de desarrollo y no se han establecido completamente los estándares de calidad y rendimiento.

Este resultado podría atribuirse a varios factores, incluida la formulación específica del material de concreto utilizado, el diseño de la muestra y las condiciones de impresión. Es posible que la combinación de estos factores haya dado como resultado una muestra con propiedades mecánicas superiores, lo que sugiere un potencial prometedor para aplicaciones estructurales y de construcción.

Sin embargo, es importante ejercer precaución al interpretar estos resultados. Aunque el valor de 6.127 MPa es alentador, aún se necesita más investigación y pruebas para validar y comprender completamente las propiedades mecánicas del concreto impreso en 3D. Se deben realizar estudios adicionales para evaluar la durabilidad a largo plazo, la resistencia a la fatiga y la capacidad de carga bajo diversas condiciones ambientales y de carga.

Además, es esencial tener en cuenta que los resultados pueden variar dependiendo de varios factores, como la técnica de impresión utilizada, la calidad del material, el diseño estructural y las condiciones de curado. Por lo tanto, aunque este resultado inicial es prometedor, se necesita más investigación para determinar el verdadero potencial y las limitaciones del concreto impreso en 3D en aplicaciones estructurales y de construcción a gran escala.

Es importante destacar que los resultados de este ensayo proporcionan una visión inicial de las propiedades mecánicas del concreto impreso en 3D y que pueden variar según diversos factores, incluida la configuración específica de la impresora 3D, los parámetros de impresión utilizados y las características del material empleado.

8. Análisis de concreto premezclado y VELOSIT® RM 203

El concreto, compuesto principalmente de cemento Portland, agregados y agua, posee excelentes propiedades de compresión, lo que lo convierte en un material ideal para estructuras que requieren soporte de carga. Su composición y características mecánicas lo hacen ampliamente utilizado en la construcción de infraestructuras como edificios, puentes y pavimentos. Por otro lado, Velosit RM 203 es un adhesivo epoxi que exhibe alta resistencia a la tracción y al cizallamiento, lo que lo hace adecuado para unir materiales diversos en la industria de la construcción y la ingeniería civil. Su flexibilidad y resistencia lo hacen especialmente útil en proyectos de reparación y refuerzo de estructuras de concreto. Aunque ambos materiales se someten a pruebas de compresión, con resultados comparables, Velosit RM 203 ofrece ventajas en términos de adhesión y versatilidad en aplicaciones donde se requiere unión de materiales o reparaciones específicas.

VII. CONCLUSIONES

- Si bien la adopción de la tecnología de impresión 3D de concreto puede implicar costos iniciales significativos, estos pueden ser compensados por los ahorros a largo plazo y los beneficios en términos de eficiencia y calidad de construcción. Sin embargo, es importante realizar un análisis detallado de costos y beneficios para determinar la viabilidad económica de esta tecnología en un proyecto específico de construcción.
- Según la cuantificación actualizada, la impresión 3D tiene un costo total de Q143,037.74, lo cual, aunque permite reducir significativamente los tiempos de ejecución y la cantidad de mano de obra, no representa actualmente un ahorro económico frente a la mampostería tradicional, que continúa siendo más accesible en costos directos. Además, es importante mencionar que en Guatemala esta tecnología no se ha implementado aún de forma integral como sistema estructural completo. En la práctica, se utiliza principalmente como formaleta o molde para luego rellenar con concreto convencional, lo cual incrementa aún más los costos y aleja el modelo actual de su verdadero potencial económico.
- Al tener en cuenta que las pruebas que realiza la empresa Cementos Progreso son en la planta localizada en el departamento de El Progreso, se puede asegurar su correcto funcionamiento en el tipo de suelo en la región. A decir verdad, el tipo de suelo no influye demasiado debido a que la fundición de losa de cimentación se hace con metodología tradicional, lo que, si se tiene que tomar en cuenta es el espectro sísmico, pero debido a que no se tienen normativas reguladas específicas a la impresión 3D se usa la normativa de mampostería tradicional por el momento.
- Hasta la fecha de esta investigación, no existe en Guatemala una normativa estructural específica oficialmente regulada para construcciones mediante impresión 3D de concreto. Sin embargo, diversos reportes internacionales, estudios técnicos y publicaciones académicas demuestran un creciente interés y avances hacia la estandarización futura de esta tecnología constructiva.

- La implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Guatemala representa una oportunidad significativa para transformar los métodos tradicionales, mejorando la eficiencia, reduciendo residuos y permitiendo una mayor personalización en las viviendas. Esta tecnología también ofrece la posibilidad de construir estructuras más resistentes y duraderas. No obstante, su adopción enfrenta desafíos importantes, como la falta de normativas específicas, la necesidad de inversión en infraestructura y la capacitación del personal. Superar estas barreras requerirá el compromiso tanto del sector privado como del gobierno. Si se logra una integración adecuada, la impresión 3D podría marcar un antes y un después en la forma de construir en el país.
- La investigación de diversas técnicas de impresión de concreto es fundamental para garantizar la resistencia estructural y la estabilidad de las viviendas construidas mediante esta tecnología. La resistencia a la flexión y deflexión de las estructuras impresas depende en gran medida de la calidad de los materiales empleados, así como de la precisión y consistencia del proceso constructivo. Por ello, es indispensable realizar pruebas exhaustivas que evalúen el desempeño de diferentes mezclas de concreto y métodos de impresión bajo condiciones similares a las del entorno guatemalteco. Actualmente, la técnica más utilizada —y la que probablemente seguirá predominando— es la impresión 3D por extrusión en capas, debido a su viabilidad técnica y económica.

VIII. RECOMENDACIONES

- La tecnología en Guatemala no está desarrollada aun, entonces se recomienda a que más empresas privadas y entidades gubernamentales le den la atención que la empresa Cementos Progreso le ha dado. El correcto desarrollo de la tecnología podría impulsar masivamente la actividad de infraestructura del país si es gestionada de la manera correcta.
- Se les insta a las entidades educativas de mayor grado, específicamente a las facultades de ingeniería y arquitectura, empezar a ampliar el conocimiento de los estudiantes, desde la parte de resistencia de materiales, y eventualmente poder hacer cálculos estructurales con este tipo de metodología. Se recomienda que desarrollen programas de investigación interdisciplinarios que aborden los desafíos y oportunidades de esta tecnología en el contexto de la construcción. Asimismo, establecer laboratorios y centros de investigación dedicados a la experimentación y desarrollo de tecnologías de impresión 3D lo cual promoverá la innovación y el avance en este campo.
- A las entidades regulatorias de normativas de construcción, y normativas estructurales de Guatemala (AGIES, COGUANOR, etc.). Se les recomienda iniciar la gestión de un reglamento nuevo de normativas estructurales adecuadas para el país utilizando la metodología de impresión 3D de concreto. Debido a que, si la tecnología toma auge para construcción, no hay normativas claras y específicas para ella aún.
- Para las instituciones públicas (municipalidades), dichas instituciones o entidades tienen un papel clave en la promoción y adopción de la tecnología de impresión 3D de concreto en proyectos de infraestructura pública. Se insta a estas entidades a promover la inversión y la colaboración con el sector privado para implementar esta tecnología en obras públicas. Además, establecer políticas y programas de apoyo que fomenten la investigación, desarrollo y adopción de tecnologías innovadoras en el sector de la construcción contribuirá al crecimiento económico y al desarrollo sostenible del país.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad, S. (2022, November 14). *5 casas hechas con impresoras 3D: construir una casa con esta tecnología es ya toda una realidad*. Sevilla Actualidad. <https://www.sevillaactualidad.com/mas/negocios/502446-5-casas-hechas-con-impresoras-3d-construir-una-casa-con-esta-tecnologia-es-ya-toda-una-realidad/>
- ArchDaily. (2022, 3 abril). *Impresión 3D con hormigón bajo en carbono: reducción de las emisiones de CO₂ y el desperdicio de material*. ArchDaily México. (Trad. Rojas, Piedad) <https://www.archdaily.mx/mx/979476/impresion-3d-con-hormigon-bajo-en-carbono-reduccion-de-las-emisiones-de-co2-y-el-desperdicio-de-material>
- C., L. (2019, 23 enero). *Se inauguró el primer Centro de Impresión 3D de Concreto en Europa*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/centro-de-impresion-3d-de-concreto-230120192/>
- C, Lucia. (2019). *Se inauguró el primer Centro de Impresión 3D de Concreto en Europa*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/centro-de-impresion-3d-de-concreto-230120192/>
- EMMEDUE S.p.A. (s. f.). *Sistema costruttivo antisismico Emmedue: innovativo, flessibile e sostenibile*. M2 Emmedue. <https://www.mdue.it/fr/panneau-prefabrique.php>
- ETH Zürich – Digital Building Technologies. (2017). *Structural optimization of 3D printed concrete foundation [Imagen]*. ETH Zürich. Recuperado de <https://dbt.arch.ethz.ch>
- ETH Zürich – Digital Building Technologies. (2020). *3D printed concrete foundation concepts [Imagen]*. ETH Zürich.
- Head, H. (2017, 17 mayo). *A History of 3D Printing in Construction & What You Need to Know*. BIM360Resources. <https://bim360resources.autodesk.com/connect-construct/a-history-of-3d-printing-in-construction-what-you-need-to-know>
- Hyperion Robotics. (2021). *Low-carbon foundations for Iberdrola energy plant [Fotografía]*. Hyperion Robotics. <https://www.hyperionrobotics.com/case-study/low-carbon-foundations-for-iberdrola-energy-plant/>
- La industria de la construcción está a punto de cambiar radicalmente*. (2018, 16 octubre). Alpha Hardin. <https://www.alpha-hardin.com/la-industria-de-la-construccion-esta-a-punto-de-cambiar-radicalmente/>
- Impresioni3d. (2021). *¿En qué consiste la tecnología de Impresión 3D FDM? Impresión i3D*. <https://impresioni3d.com/en-que-consiste-la-tecnologia-de-impresion-3d-fdm/>
- Iribar, I. (2023, 11 de julio). *Impresión 3D en la construcción: ¿Cómo funciona la impresión 3D en la industria de la construcción?* CEMEX Ventures. <https://www.cemexventures.com/es/impresion-3d-en-la-construccion/>
- M, Alicia. (2023). *¿Cómo funciona una impresora 3D de hormigón?* 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/funcionamiento-impresora-3d-hormigon-120720212/#!>

- Makenica. (2020, 21 de septiembre). *Materials used for 3D printing construction*. <https://makenica.com/materials-used-for-3d-printing-construction/>
- María José R. (2022, 19 de septiembre). *La impresión 3D y el cemento unen fuerzas para resolver el déficit de viviendas en Guatemala*. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-cemento-resolver-deficit-viviendas-guatemala-190920222/>
- Mordor Intelligence™ Industry Reports. (2024). *Tamaño del mercado de impresión de hormigón 3D y análisis de participación, tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/3d-concrete-printing-market>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia – SEGEPLAN. (2011). *Plan de Desarrollo Municipal de San Antonio La Paz, El Progreso*. Guatemala: SEGEPLAN.
- Serrano, P. (2021, 24 de septiembre). *Construcción prefabricada ▷ Más rápida, sostenible y eficiente*. Caloryfrio. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/construccion-prefabricada-mas-rapida-sostenible-y-eficiente.html>
- Strømme, C. (2022). *PRIMER EDIFICIO DE 2 PLANTAS IMPRESO EN 3D DE AMÉRICA DEL NORTE CONSTRUIDO POR NIDUS 3D EN ONTARIO, CANADÁ*. COBOD. <https://cobod.com/es/primer-edificio-de-2-plantas-impreso-en-3d-de-america-del-norte-construido-por-nidus-3d-en-ontario-canada/>
- Systemes, D. (2022). *FDM - Modelado por deposición fundida*. Dassault Systemes. <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/fdm-fused-deposition-modeling>
- 3D-printed concrete: still in its infancy*. (2021, 30 marzo). Elematic precast technology. <https://www.elematic.com/concrete-issues/3d-printed-concrete-still-in-its-infancy/>
- Toledo, R. (2023). *La industria de la construcción está a punto de cambiar radicalmente*. Alpha Hardin. <https://www.alpha-hardin.com/la-industria-de-la-construccion-esta-a-punto-de-cambiar-radicalmente/>

X. ANEXOS



Figura 20. Vista de interior de primer proyecto de vivienda hecho por Cementos Progreso

Fuente: Fotografía propia

Transcripción de grabación de entrevista con Ing. Herrera de Cementos Progreso

Speaker 1

Este es el edificio, ya imprimimos, estas son oficinas, estos tres módulos son de oficinas y estos tres de acá, estos dos de acá son de laboratorio y una recepción digamos. Es como un minicomplejo. Sí, es un complejito, aquí hacen pruebas, estos espacios son, este espacio de acá y el de acá, son para hacer pruebas de sus productos que son morteros como de recubrimiento, tienen sus muros ahí para ir probando.

Aquí hay un oasis, que le llaman un oasis en el centro, que es un área abierta digamos, y estos están conectados con estas áreas, aquí hay una sala y todo, que son, que están hechos con otro, con otro material, estarán hechos con otro material, las unir, unir entre edificios y eso se va a hacer de otra, de otra forma, estamos imprimiendo el segundo que es este, entonces ya se imprimió este, vamos acá y después seguimos acá con estos. Ahorita pongámosle, eso es básicamente como hacer casas en serie, en teoría.

Sí, sí, sí, pero tenemos que ir moviendo la impresión. Entonces mi pregunta es, supongamos que hacemos un condominio chiquito, casas en serie, ¿cuánto tiempo toma el montaje y desmontaje de la máquina como para moverlo 20 metros? Ahorita, ahorita vimos, solo lo hemos movido una vez ahorita todavía entre estos, pero sí les tomó como unas 6 horas, 6, 7 horas, sí, sí, y no estamos tan eficientes aún en eso, entonces faltan, faltan muchas cosas, faltan muchas cosas que ver, pero la idea si uno pudiera es imprimir de corrido, si uno tuviera suficiente gente para hacer los turnos digamos, en un día está impreso hasta arriba, estos son de 3 metros, 3 metros de altura. ¿Tan alto? Sí, es alto, igual los otros eran de 3 metros, los otros, este Alfa y Beta creo que son de 3 metros también, no me recuerdo ahorita, sí, de 3 metros.

Yo siento que le quiero hacer preguntas como si ya llevaran 20 años en esto, pero para el diseño estructural, ¿ustedes lo hacen, ¿cómo lo hacen, qué programa usan o cómo? Bueno, no, digamos el diseño estructural nos estamos apoyando en un ingeniero estructural local digamos, que usa los programas normales ahorita. Sí, ETABS o todo eso.

Sí, ETABS, sí. Yo le pregunto porque, por ejemplo, o sea yo sé usar ETABS, pero cuando uno hace el modelo, tiene que poner qué concreto es, qué normativa es, si están en el ACI 19, en el ACI el que sea, entonces esa es mi pregunta, o lo meten como por, así análogo de decir, mire esta es la resistencia que tiene aquí.

Sí, digamos que en realidad los cordones de impresión, podríamos decir que no están haciendo nada, o se considera que no hacen nada, y ahí es donde está la mejora, ¿verdad?

Porque lo que se está considerando es que lo que trabaja es el muro, el concreto de adentro.

Ah, entonces sí es fácil. Entonces sí está fácil.

Pero no nos podemos quedar así, ¿verdad? Obviamente tenemos que aprovechar la tecnología, entonces nos tenemos, el siguiente paso es movernos a optimizar, y ahí sí ya vamos a tener que ver, digamos, o dejamos columnas en algunos, digamos que acá originalmente con este prototipo le queríamos dejar, no sé dónde se mira aquí, aquí, digamos que le queríamos dejar como sus columnas aquí, y aquí otra, y aquí otra, y solo íbamos a fundir estas como aquí reforzadas con acero, digamos, esto todavía ni teníamos la idea de qué íbamos a hacer, y esta parte no rellenarla, digamos que esa era nuestra idea original, no la hicimos así, así se quedó, ahorita están vacías, no están ni siquiera llenas estas.

No tenemos ningún tipo de carga. Sí, y creo que, no sé si llenamos alguna de estas, pero creo que no, pero creo que nos tenemos que mover a algo así, digamos. Ok, tengo otra duda, en el proyecto que hicieron en Sanarate, que ya terminaron el alfa, ¿le metieron cimentación de algún tipo?

Es una losa, es una losa. Solo losa fundida y ya. Una losa de piso, sí, no tiene, que se mira, sí, es esta losa, pero aquí tiene un espesor, no me recuerdo, 15 centímetros o no sé, 10, más de 10.

¿Consideraría usted que eso es lo que se va a seguir usando o algún día se va a poder meter zapata, digamos, leo?

Sí, yo diría que se puede optimizar, porque eso lo estuvimos viendo para el laboratorio, lo estuvimos viendo con los daneses, de hacer un cimiento como corrido, digamos, y solo reforzar, al final ya no lo hicimos así, pero digamos, solo en donde iba a estar cargando el muro, ¿verdad? Y hacerlo así, más eficiente, pero ahorita en realidad son losas, aquí están losas abajo de cada uno de estos, son losas de cimentación y ahí están los hierros esperando.

Creo que no tengo foto de esa, vamos a ver, creo que no tengo foto de la completa, sí, aquí están aquellos con el primer módulo.

Ok, ahora que solo miro algo y me pregunto, ahí supongo que es un operador y el otro es el que mezcla, ellos en términos de capacitación o en términos, o sea, ¿cuánto

tiempo fue de capacitación? Lo miro más que todo porque yo lo quiero poner en términos de mano de obra, entonces ¿qué tanto se tiene que invertir para que el operador sepa?

¿Y qué tan factible es tener varios?

Sí, digamos que, yo le diría, el operador actual es diseñador industrial, digamos que ellos están familiarizados con ese programa como Reddit y esas cosas, que parte, la verdad es que el diseño original parte de un CAD normal, digamos de un AutoCAD o lo que sea, y luego hay que irlo pasando a lenguaje, metiéndole las restricciones que pueda tener la impresión, que es por ejemplo el radio de curvatura y esas cosas, tenerlas claras y luego ya se pasa a un lenguaje de impresión, digamos, que trae un slicer, le llaman ellos, que trae la impresora, entonces eso lo dominan, digamos, los diseñadores industriales, creo que, digamos, que dominan esos lenguajes y esas, entonces lo ideal es que fuese alguien con ese background, digamos, porque ya están familiarizados con esos programas de impresión, incluso impresión 3D, aunque sea en otro material, en una impresora más pequeña o lo que sea, entonces este Manuel, que es el de la impresora, el operador, fue a, estuvo en Dinamarca y no estuvo tanto tiempo, digamos que estuvimos una semana y él se iba, digamos de esa semana unos tres días, creo que estuvo viendo el tema de impresión con ellos, pero ellos también antes mandaron información, mandaron videos, mandaron un sinfín de información que había que estudiar, entonces, digamos, yo diría que así presencialmente estuvo sin mucho una semana en entrenamiento, pero obviamente cuando vinieron a instalar la impresora, ahí hubo, porque vino el técnico a instalar la CAMP, y ahí pues estuvo con nosotros, no sé, un mes, mes y medio con nosotros, viendo algunos, porque había unos problemas eléctricos, porque las conexiones de Guatemala y la de Europa, sí se pidió sabiendo que era de aquí, pero aún así que los transformadores, que el no sé qué, entonces sí se quedó más tiempo, entonces más lo que tuvo que estudiar en, entonces yo diría, yo no sé, un mínimo de dos semanas, tres semanas tal vez para estar, pero con ese background, ahora si no tiene eso de conocimiento, pues ya sería más complicado, pero yo diría que unas tres semanas, verdad, depende de qué tan chispudo sea, también tres semanas de, pues como para ponerlo, por lo menos hacer sus primeros tanes, verdad. Sí, porque para operar, o sea, está el operador, el de la mezcla y un par de ayudantes, y con eso se ocupa más.

Sí, en alguna, digamos, bueno, pero ya sólo en cosas de instalación, instalación eléctrica, pero digamos que sí, en cuestión de impresión, básicamente son dos personas, con los ayudantes que ayudan un poco con la mezcla, que no está automatizada, pues porque todavía rompemos los sacos, pero este sistema trae un silo también, donde puede alimentar las big bags, y entonces se alimenta más directamente la bomba, verdad, pero.

Pero ya en un mundo ideal ustedes venden los sacos y sólo se ponen. Sí, sí. Yo honestamente sí estoy, madre, súper interesado en esta tecnología.

Sí, así se mira el primer módulo, ese fue el primer módulo cuando se terminó, pero este sí es una lozota. Sí. Ese sí es una loza grande.

A mí también me sale otra duda que lo estoy viendo. Termina la ventana, el sillar, ¿cómo le hacen arriba? O sea, ¿le ponen formaleta?

Sí, se deja una, cuando ya le toca esa capa, se deja una tabla, digamos, y pasa imprimiendo encima. Y aguanta, o sea. Sí, bueno, creo que a la segunda le ponemos un, le ponemos acero.

Ok. Sí le ponemos acero de. De refuerzo.

En el vano ese. Ok. En los vanos.

Ah, mira. Y algunos sí llegan hasta arriba, ¿no? Estas aberturas sí llegan hasta arriba.

Ok. Y aquí va a tener loza. Y aquí se miran los hierros, ¿eh?

De la segunda. Sí, claro. Aquí se miran los hierros.

Y esta parte creo que es la más complicada, que estar en zona sísmica no es divertido porque tiene necesidad de muchos refuerzos, entonces ahí es donde viene otra investigación. Bonito el diseño. Sí.

Ah, pues son héroes de caras, eh. Sí. Y como contexto, a mí me tocó diseñar, y en la U obviamente, un edificio, ¿cuántos niveles eran?

Era de 24 niveles, me acuerdo.

Speaker 2

Ajá.

Speaker 1

Y las zapatas, y me pusieron un tipo de acero, pero mira, horribles. Sí, pues. Al final, mis zapatas eran como de 6 por 6, y me dijeron que, mire, estas tonteras, pues.

Sí, pues. No, pues que mira, así te tocó. Yo decía, es que lo tengo malo porque no puede ser tan grande.

No, está bien, pero te quedó mal. Así es, sí. Y aquí había ese problema también, que el terreno no era, había partes de relleno, entonces hubo que sustituir material.

O sea, que el terreno donde está tampoco es el mejor de todos, pues, entonces hubo que hacer alguna sustitución o qué. Entonces por eso sale, así como le pasó a usted, le salieron las cosas más por el suelo. ¿Qué tipo de suelo es en el que están trabajando ahorita?

Eh, yo ahorita no sé, es un relleno, es un relleno que había, entonces se sustituyó, se metió, sí, yo creo que se metió selecto para sustituir una capa y ya sobre eso.

Speaker 2

Ok.

Speaker 1

Pero no me recuerdo, no tengo los detalles ahorita bien de eso, pero sí, sí eso, no es un suelo tan adecuado, por eso salieron algunas dimensiones muy grandes, porque eso pedía por el suelo. Y los daneses tampoco, aquí sí ya nos ayudaron los daneses otra vez y no estaban muy convencidos de eso y dijeron, no, nosotros preferimos irnos por lo seguro, entonces, ah bueno, pues sí, está bien. Pero aún el estructural local decía que era demasiado, pues, pero así quedó.

Ok. Entonces, solo quiero ver una cosa. No tenga pena.

Speaker 2

No, pero dele, si quiere.

Speaker 1

Pues sí. Ah, ya. Para compararlos.

Es como tablet x2, pero, pero puse. Sí, esa es la de Icon. Digamos que estas, estas Cobot ya tienen también una opción que recién la acaban de sacar, nosotros no la habían sacado todavía cuando la compramos, era ponerle rieles, digamos que estas columnas se convierten, se convierten en rieles para que no desarmar la máquina, sino que siga corriendo.

Ok. Entonces tienen una versión que se puede adaptar, ya se llama Bot 3, es la Bot 3, esta es Bot 2, pero uno la puede, está la puede uno transformar haciendo algunas adaptaciones con otro, otros rieles y otras cosas para no, no tener necesidad de estar desarmando cada vez, ¿verdad? Entonces algunos que compren ya impresoras más grandes, o sea, no impresoras más grandes, sino de Cobot, son más módulos.

Digamos que en vez de 3x3x3 es 3x5x3, ¿verdad? Ya están ampliando. Entonces esa parte ya pueden pensarle, sale mejor, o ahí si compran una más grande, pues ya no la tienen que mover, porque ya tiene los 5 módulos aquí.

Speaker 2

Idealmente pasa.

Speaker 1

Entonces pueden seguir aquí. Imagínense en unos, ¿qué?, 20 años, ya que todo aquí se haga en serie, todos los condominios. Pues así, digamos que, digamos que de momento es todavía, es una tecnología que ya estamos viendo, pero que le faltan todavía sus años para que entre en el asunto, ¿verdad?

Nosotros mismos, bueno, tenemos tan poquito, o sea, la tecnología en realidad es relativamente nueva, pero nosotros de estos dos años prácticamente que tenemos, digamos que ya se avanzó bastante porque hemos construido cosas, pero falta seguir desarrollando, ¿verdad? En varios temas, en material, porque en vez de mortero podemos usar concreto,

que eso lo haría más económico también, usar tiadra más grande. Concreto, en cuanto a configuración estructural, también se puede mejorar, digamos utilizar mejor, tal vez esa configuración de los hosts puede ayudar.

En la mezcla podemos usar fibras, fibras metálicas para tratar de reducir un poco acero del refuerzo secundario o lo que sea, ¿verdad? Que ya lo llevé el concreto en lugar de, porque si, como nuestras estructuras acá por el sismo siempre llevan mucho acero, pues si nos podemos ahorrar algo de acero usándolo en el concreto, pues no lo vamos a poder eliminar el acero totalmente, pero sí dejar sólo el necesario acá y el resto que vaya en fibras de función estructural, ¿verdad? No son fibras.

Estas, las últimas mezclas que hacemos aquí sí llevan fibra, pero llevan la fibra de pelito, esas que sirven más para fisuras, para fisuras, pero no tienen función estructural, pero las nuevas metálicas o de polipropileno ya tienen función estructural, esas son las que ayudarían para ver si podemos reducir algo del acero, que es el que nos causa obstáculo cuando vamos imprimiendo, tenemos que estar, parar para reforzar el siguiente metro o lo que sea y luego seguir.

Entonces, quiera que no, eso es un obstáculo. En términos de costos, no sé si me lo puede compartir o es información privada, ¿cuánto cuesta la máquina? Bueno, porque yo sé cuánto cuesta la máquina, pero ¿cuánto les costó aquí?

La máquina, yo creo que sería, es que en dólares serían unos 400.000. Ok. En dólares quizás. ¿Ya puede estar aquí?

Sí, porque la máquina cuesta, costaba como 350, tal vez un poco menos que eso, pero más la traía, sí, 450, cuatro, entre cuatro y 450, fácil. Ahorita, si la cotizamos, yo digo que debe costar más, no sé. Ok.

No he preguntado, pero tal vez. Puede ser, porque si se está levantando, en TikTok me he encontrado un montón de gente que ya construye y con eso dicen, bueno, pero también es en Estados Unidos, ahí no tienen tanto sitio. Sí, tienen esa ventaja, Canadá también, en el Medio Oriente tienen, de hecho, ellos tienen una oficina en el Medio Oriente, por la demanda que hay, Arabia Saudita y eso.

Es que también la movilidad, o sea, que es tan nuevo uno, o sea, ya un cliente, literal, hacemos un condominio, impreso en 3 días, bueno, ¿qué es eso? Vamos a ver. Y les gusta porque técnicamente es lo mismo, pero es nuevo.

Sí, sí, sí. Ahora, en términos de uso, ¿cuántos años cree usted que le podría sacar a una máquina? Pues, nosotros estimamos que le podríamos sacar 10 años, fácil, ¿verdad?

Pero quizás, eso es lo que nosotros le estamos dando como de vida útil. Yo creo que ellos ofrecen hasta más, ya me acuerdo, pero... A poner de 10 a 15 años.

Sí, fácil. Y digamos, por eso esta nos gustó, porque es bien robusta. O sea, esta es bien robusta la máquina.

Entonces, la máquina, yo digo que sí fácil se le sacan 10 años, si no es que tal vez un poco más. La razón por la cual le hago las preguntas es porque quiero hacer, lo que había comentado, el análisis comparativo entre costos de utilidad normal, o sea, de construcción de mampostería tradicional y esto. Obviamente, en términos de materiales no lo voy a poder hacer, o sea, lo voy a poder hacer, pero no va a tener cuenta.

Es como, ahorita casi que lo que sería es como comparar mampostería con un muro de concreto, casi, porque casi que es lo mismo. Pero es lo que le decía, o sea, más o menos ahorita, pongámosle, es que está un poquito complicada la pregunta, pero póngale, ¿cuánto rinde o cuánto cuesta hacer un metro cuadrado de muro? Buena pregunta, pero solo en...

Solo en material de impresión 3D, porque lo del concreto lo voy a justificar de otra manera, lo del relleno. Sí, el material de impresión, ¿cuánto se nos llevará por muro? Pues así en la mente no lo tengo, pero...

No podemos esperar. Vamos a ver. Solo vamos a ver si alguno de aquellos lo tiene.

No tenga problema. Porque ese material de impresión es otra cosa, no es un material cualquiera, es un material especial. Yo lo estoy comparando, lo voy a comparar, y también no sé si usted tiene, porque el mixto es de usted, ¿no?

Sí, el mixto es de Progreso. Porque yo tenía entendido que costaba como Q1,600.00 el metro cúbico, creo yo. El metro cúbico, creo que Q1,200.00 cuesta el convencional colocado, pero como Q1,200.00.

Pero Q1,600.00 si es un concreto especial, no sería más raro que fuera por ahí, o más. Lo voy a comparar con el metro cúbico del camión y con el saco convencional de premezclado, porque el saco cuesta Q49.00, que sale el de Q50.00. Y se necesitan como Q43.00 para un metro cúbico.

Exacto, entonces esa va a ser mi comparativa. ¿Cuánto cuesta el saco? Cuesta como Q50.

Sí, como Q50.00, Q49.00, Q43.00, sale como Q2,000.00, Sí.

Entonces sí puede ser. Sí, aquí me dijeron que Q1,700.00 el de mixto y Q1,450.00 el de concreto. Para fundición.

Yo creo que este... Vamos a ver. Metro cúbico y pongámosle como Q2,000.00 y pico.

USD 2,000.00 el metro cúbico de premezclado. Y lo pongo el de premezclado porque era lo que me quedaba en la obra, lo que me robé para hacer la prueba. Y también este ya es otra.

¿Se acuerda que le mandé foto y había uno que es de Velocit? ¿Sabes qué es Velocit? No, fíjese que me suena, pero no...

Es un producto de... ¿Cómo se llama esta empresa? Que trae productos raros.

Se llamaba... Pero es un mortero de reparación. Pero es un mortero...

En 15 minutos. Fue más por morbo porque tenía un poquito del material y lo voy a probar.

Es de... GT Solutions, ¿no venden? Velocit.

Es de Estados Unidos. Aditec lo vende aquí. Y lo usé para las reparaciones de unas cosas y bueno, lo voy a probar.

Y le voy a mandar el dato para que usted lo sepa. Para ver cuánto me dio de resistencia. Porque si aguanta un poquito de reparación, pero no sé cuánto.

Sí, yo digo que el metro cúbico de este material... Metro cúbico, pues, pensando en metro cúbico. El material comparado con los otros debe ser por ahí de los 2.000, digo yo. 1.800, no creo que sea menos de 1.800. Qué tal es el metro cúbico. Vamos en 1.850. Tal vez 2.000, tal vez hasta 2.000. Vamos en 2.000. Entonces en términos de costo se compara a los sacos de premezclado. Eso sin contar el relleno que tiene.

Pero el relleno no lo voy a poner porque... El metro cúbico de impresión. Bueno.

Es que también en mano de obra sea un montón de plata. O sea, porque póngase... ¿Cuánto me voy a ahorrar?

Si tengo que pagar solo un operador, dos ayudantes y el otro... Bueno, tampoco es que gane poco, pues, pero... Ya...

En una obra supongo que igual tiene que haber un maestro, pues. Un maestro, un par de ayudantes, el operador y el de la mezcla. Y en cambio tengo que tener como...

Fácil, fácil, unos 25 albañiles y unos... Otros 26, 27 ayudantes. No, si se ahorra pistón.

Y más que todo, porque imagínese, en una construcción se tarda uno... Yo en este proyecto me tardé... Año y pico.

Por cuatro casas. Sí, sí, sí. Y póngase en un...

Aquí íbamos a sacar seis en seis meses. Bueno, pues, no sé, empezamos... Bueno, se empezó a imprimir.

Bueno, lo que pasa es que ya se hicieron las... Los pisos antes. Pero creo que empezamos...

Oye, estamos en abril, ¿verdad? Es que sí, como se empezó con el... Y no nos pasamos de inmediato porque todavía estábamos terminando allá arriba.

Pero aquí debimos haber empezado a imprimir tal vez hace... Ay, no me acuerdo. Sí, pero digamos que...

Casi que la mitad. Sí. Lo tenemos que entregar...

Ya impreso debería... Ya hoy... Mañana se termina de imprimir el segundo.

Y vamos casi que uno por semana. Imagínese. Pero le falta que los acabados...

Esa era mi pregunta que le iba a hacer ahorita. Para las instalaciones eléctricas, de plomería... O sea, todo lo que conlleva...

¿Cómo le hace? ¿Con cuál? Con la tubería eléctrica, la tubería de plomería.

La dejamos de una vez. Fundida. Sí, ahí se quedó en la...

Como tradicional. En la placa. Ahí van las conexiones eléctricas, drenajes, electricidad...

Y las cajas de tomacorrientes y todo se van poniendo ahí. Cuando ya pasamos ahí hay que dejarla en fresco. Se puede meter o se corta ahí mismo y se deja la caja.

Speaker 2

Ya.

Speaker 1

De una vez. Esas cositas son las que... Digamos que nosotros que no construimos...

Para nosotros todo era nuevo, ¿verdad? Pero para quien ya construye pues... Pues tiene esa facilidad que ya tiene experiencia con...

Pero aquí era... A esa altura teníamos que ir los tomacorrientes, que a la otra altura los interruptores... Que las cajas de los interruptores se van dejando los...

Si no se dejan las placas de una vez se puede dejar ahí solo para después arreglarlo. Pero para eso sí sirve esa parte interna, ¿verdad? Que ahí queda todo.

Eso me iba a preguntar también porque de todas maneras ya tienen la cámara de aire ahí entonces... Sí, sí. Pues necesitan un residente ahí.

Sí, sí. La verdad. Sí, porque nosotros estamos...

Ya que ellos se están haciendo de residentes de todo. Cabal. Ah, no sé si estoy hablando de casa, si yo quiero renunciar ya.

Verdad. Ah, entonces paso peleando todos los días porque es que... Por más de que uno pase encima...

Cuesta, ¿verdad? Cuesta. La gente no...

Sí. En fin. Bueno, si quiere, vamos a verla.

Vamos a ver. Y de regreso solo le hago... Esta ya va a ser otra grabación porque esta fue más como una entrevista para conocimientos generales.

Para entender ya el contexto global. Para que usted mire cómo vamos. Digamos que yo no le puedo decir, mire, ya tenemos solucionados todos los problemas.

Ya sabemos cuánto cuesta. Sale más barato o qué no sé qué porque todavía no hemos hecho nada en serie, digamos. Como para...

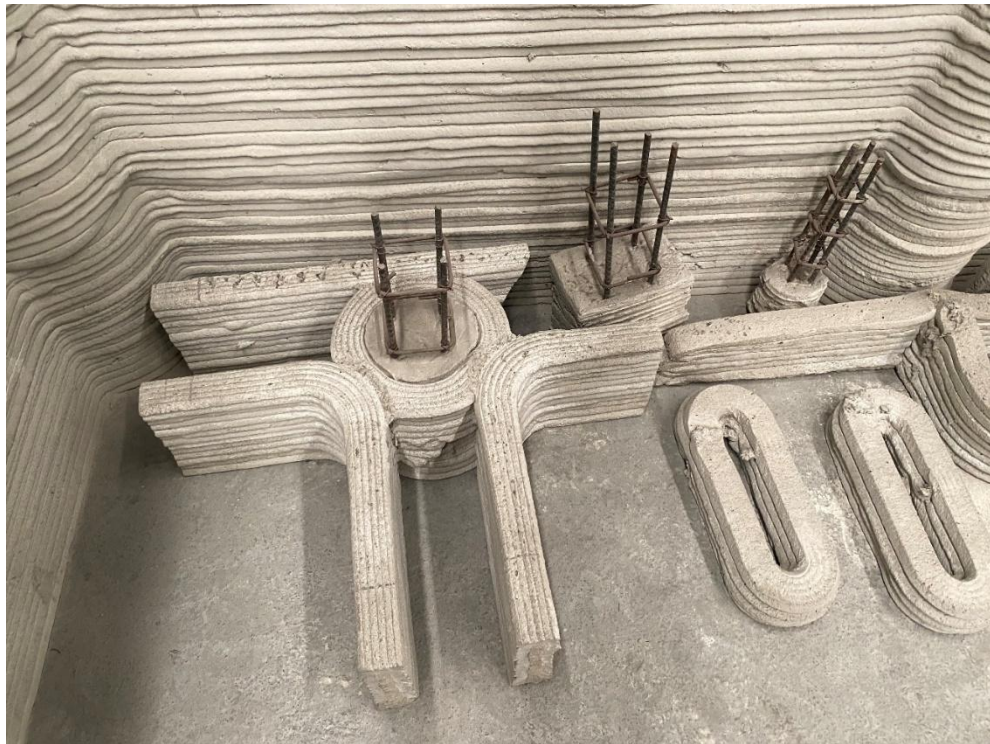


Figura 21. Primer prototipo de fundición de columna hecho por Cementos Progreso

Fuente: Fotografía propia