

Investigación sobre construcción 3d y sus aplicaciones

Universitat Politècnica de València, Valencia. España

RESEARCH INTO 3D CONSTRUCTION AND ITS APPLICATIONS

Universitat Politècnica de València, Valencia. Spain

Ramírez Collado, Vicente; Puchades Valencia, José Luis; Martín Rodríguez, Joaquín; Muñoz Montes, José Guillermo

Startup de investigación de la Universitat Politècnica de València. *vramirez@bemore3d.com*

<https://doi.org/10.4995/CIAB8.2018.7648>

Resumen: En el presente artículo se pretende dar a conocer el proceso de investigación sobre materiales cementicios enfocados a la impresión 3D. Un grupo de 4 estudiantes de la Universitat Politècnica de València, 3 Ingenieros de la Edificación y 1 Ingeniero de Electrónica y Automatismo Industrial, llevan 3 años investigando y desarrollando tanto un dispositivo de impresión 3D móvil como un material cementicio para ser extrusionado por dicho dispositivo y ser capaz de modelar cualquier tipo de figura con tecnología FDM (adición de capas). El principal objetivo de esta investigación es la aplicación de este nuevo sistema constructivo al sector inmobiliario y construir viviendas, reduciendo riesgos laborales, costes y material de residuo. Caracterizando nuevas dosificaciones cementicias, conseguimos aumentar su Trabajabilidad y Robustez frente a inclemencias meteorológicas que puedan afectar a su reología y comportamiento al momento de su puesta en obra mediante bombeo y extrusión mecánica.

Palabras clave: Impresión 3D; Hormigón; Tecnología; Investigación; Construcción.

Abstract: This article intends to give an understanding of the process of research into cement materials, focussed on 3D printing. A group of four students at the Universitat Politècnica de València – three architectural engineers and one electronic and automotive industrial engineer, spent three years researching and developing both a mobile 3D printing device; and a cement material to be extruded by this device and be capable of modelling any type of figure with FDM technology. The main objective of this research is the application of this new construction system to the house-building and real estate sector; reducing occupational hazards, costs and waste material.

Key words: 3D Printing; Concrete; Technology; Research; Construction.



Figura. 1 Modelo teórico y real de casa impresa 3D . BEMORE3D. 2017 / Figure 1. Theoretical and real model of printed house 3D. BEMORE3D. 2017.

Introducción

Desde BEMORE3D, se apuesta por la construcción 3D como el candidato de excepción para el nivel de industria 4.0. Este tipo de tecnología avanzada más cada día y es clara la tendencia que en muy poco tiempo el porcentaje de construcción 3D será muy significativo, hasta tal punto que va a pasar a ser una herramienta fundamental en el día a día de cualquier obra.

Después de 3 años investigando en este tipo de tecnología, desde tipos de materiales y resistencias a diferentes diseños de maquinaria y extrusores de hormigón, son amplios los conocimientos obtenidos sobre la tecnología y el material.

El objetivo principal inicial era: primero validar el concepto de “construcción 3D” y presentarlo como una realidad al público general, y segundo validar el uso de microhormigones como material para la impresión 3D.

En la parte de materiales y acabados se han realizado diferentes pruebas de extrusión, tanto con cemento gris como con cemento blanco, obteniendo diferentes tipos de resultados con la misma dosificación. Reacciones diferentes frente a aditivos, cambios de temperatura y humedad.

Introduction

BEMORE3D, encourages 3D as an exceptional candidate for industry level 4.0. This type of technology advances every day and the tendency is that in a short period of time the percentage of 3D construction will be very significant, to such an extent that it becomes a fundamental tool in the day to day of any building work.

After three years of research into this type of technology, from types of materials and resistances to different machine designs and concrete extruders, extensive knowledge into this technology and material has been gathered.

The initial main objective was: to validate the concept of 3D building and present it as a reality to the public; and second, to prove the use of micro-concrete as a material for 3D printing.

In terms of materials and finishing, different extrusion tests with the same amount of grey and white cement were carried out, in which various results were observed. There were disparate reactions to additives, changes to temperature and humidity.

Discusión

BEMORE3D, es una joven empresa innovadora, especializada en impresión 3D con hormigón, tanto a nivel de materiales, tecnologías de impresión y soluciones constructivas, utilizando de forma intensiva el conocimiento científico y tecnológico. Desde 2015, el equipo promotor de la empresa ha dedicado más de dos tercios de su dedicación al desarrollo de soluciones innovadoras y a la investigación en tecnologías de impresión 3D con hormigón en estrecha colaboración con la Universitat Politècnica de València.

Objetivos y requisitos

Con el objetivo cumplido de validación de concepto tanto de la maquinaria, como del material se fija la línea de partida para el desarrollo e investigación de una nueva tecnología para su uso en construcción que esta irrumpiendo en la misma de manera emergente.

Se marcan distintas metas a corto, medio y largo plazo que según las diferentes vertientes técnicas del proyecto empresarial, se implicarán una o varias de las siguientes tecnologías disponibles (Tabla 1):

Objetivo principal:

- Reducir un 35% los costes actuales de la construcción convencional.
- Imprimir la estructura y particiones interiores de una vivienda de hormigón *in situ* en menos de 24 horas frente al periodo de 1 a 3 meses requeridos para construir una casa promedio en Europa.

Argument

BEDMORE3D is a young innovative company, specializing in 3D printing with concrete, both in terms of materials, printing technologies and building solutions, using intensive scientific and technical knowledge. Since 2015, the team promoting the business has dedicated more than two thirds of their efforts to the development of innovative solutions and research in 3D printing and technology with concrete, in close collaboration with the Universitat Politècnica de València

Objectives and requirements

Having accomplished the objective of validating both machinery and material, the starting point was set for the development and research of a new technology for its use in construction, which is emerging as the technology develops.

Different goals are marked in the short, medium and long term which, according to various technical aspects of the business project, which will involve one or more of the following available technologies (Table 1):

Main objective:

- Reduce the actual costs of conventional building by 35%
- Print the structures and interior partitions of a concrete house in situ in less than 24 hours, compared with the period of 1 to 3 months required to build an average house in Europe
- “Free form”: Allow new personalized and singular forms of architecture without increasing the cost of a conventional build.

Tecnologías involucradas	Disponibilidad en bemore3d
Reología del hormigón	Experiencia previa
Diseño de mezclas de hormigón extruible	Experiencia previa y secreto industrial.
Ensayos de caracterización de materiales	Experiencia previa y acuerdos con socios tecnológicos
Ensayos de resistencia estructural	Experiencia previa y acuerdos con socios tecnológicos
Modelización numérica de estructuras reales	Experiencia previa y acuerdos con socios tecnológicos
Tecnologías de impresión 3D con hormigón	Propiedad intelectual y experiencia desarrollo. N°Solicitud: U201630034. N°Publicación: ES1150409.
Cálculos estructurales y dinámicos en máquinas	Experiencia previa y contactos con expertos
Software de Control numérico	Experiencia previa y acuerdos con socios tecnológicos
Parametrización del proceso de impresión 3d	Experiencia previa
Ingeniería de integración	Experiencia previa y contactos con expertos
FABRICACIÓN DE soluciones constructivas en 3d con hormigón	Experiencia previa
Diseño 3d de sistemas constructivos	Experiencia previa

Tabla 1. Requisitos para el desarrollo. BEMORE3D (2017) / Table 1. Development requirements. BEMORE3D (2017).



Figuras 2 y 3. Modelo casa impresa 3D. BEMORE3D (2017) / Figures 2 and 3. Model of printed house. 3D. BEMORE3D (2017).

- “Free form”: Permite nuevas formas arquitectónicas personalizadas y singulares sin aumentar el coste de la construcción convencional.
- Ecología: Reducir un 85% la generación de residuos, el ruido, el polvo y las emisiones en la que una casa unifamiliar típica genera de 3 a 7 toneladas de residuos.
- A medida o de catálogo: Permite elegir la vivienda preferida dentro del catálogo de viviendas desarrolladas por el equipo de diseño de la empresa o el diseño partiendo de cero adecuándose a las necesidades y gustos del cliente.

Concepto de arquitectura

El concepto de arquitectura es algo completamente nuevo al referirse a “*arquitectura por impresión 3D*” En el que se abre un mundo de nuevas posibilidades tanto de acabados como de soluciones constructivas como podemos observar en la Figura 1.

Pero en sus soluciones constructivas inicialmente volvemos a conceptos de construcción con muros de carga (Figs. 2 y 3).

Por lo que se esta empleando un tipo de arquitectura completamente nuevo utilizando conceptos constructivos muy arraigados en la construcción. El futuro será desarrollar nuevos sistemas constructivos específicos para este tipo de tecnologías, objetivo que esta enmarcado en “objetivos a largo plazo” que se están desarrollando actualmente en la investigación.



Figura 4. Imagen prototipo casa impresa 3D. BEMORE3D (2017) / Figure 4. Image of prototype printed house 3D. BEMORE3D (2017).

- Ecological: Reduce generation of waste, noise, dust and emissions that a typical single-family house generates (3 to 7 tones) by 85%
- Customized or catalogue: Allows choosing the preferred home from the catalogue developed by the company’s team of designers or the design from scratch, adapting to the needs and tastes of the client.

Architectural Concept

The architectural concept is something completely new in referring to ‘architecture by 3D printing’, which opens a whole new world of possibilities as well as finishes, like the building solutions which can be seen in Figure 1.

But in these building solutions, initially we return to construction concepts with load-bearing walls (Figs. 2 and 3).

For its use of a completely new type of architecture, it uses building concepts very rooted in construction. The future will be to develop new constructive systems specifically for this type of technology, an objective that is framed in the ‘long term objectives’, currently being developed in research.

A sample of this is a prototype of a 3D printed house in concept of a Final Project, carried out by by Ana María Andrés Jiménez, supervised by José Ramón Albiol Ibáñez and in collaboration with BEMORE3D in which a 3D printed beam and a prefabricated 3D printed house are studied (Figs. 4 and 5).



Figura 5. Imagen prototipo cercha impresa. BEMORE3D (2017) / Figure 5. Image of printed truss. BEMORE3D (2017).

Una muestra de esto es el prototipo de casa impreso en concepto de un Trabajo Final de Grado, realizado por Ana María Andrés Jiménez, tutorizado por José Ramón Albiol Ibáñez y con colaboración de BEMORE3D en el que se estudió una viga impresa en 3D y un prototipo de casa prefabricada mediante impresión 3D (Figs. 4 y 5).

Desarrollo y resultados

Se empezó trabajando desde cero ya que no existían estudios previos y gracias a la colaboración del profesor titular de la Universitat Politècnica de València D. José Ramón Albiol Ibáñez y partiendo con su experiencia previa en hormigones de altas prestaciones se desarrolló una “masa madre” con la que fue posible empezar a trabajar.

La experiencia obtenida hasta ahora nos ha permitido desarrollar una serie de microhormigones “imprimibles” tanto en cemento blanco como en cemento gris con una diferencia significativa entre ambos, su trabajabilidad.

Cuando se ha utilizado cemento gris, se ha logrado una trabajabilidad de hasta 5 veces mayor que con cemento blanco, ya que este último es mucho más reactivo y el tiempo que puede ser extruido es mucho menor.

Development and results

We started working from scratch since there were no previous studies and thanks to the collaboration of Professor D. José Ramón Albiol Ibáñez of Universidad Politécnica de Valencia and sharing his previous experience in high performance concretes, a “*masa madre*” was developed with which it was possible to start working.

The experience obtained until now has allowed us to develop a series of ‘printable’ micro-concretes both in white and grey cement, their workability being a significant difference between them.

When the grey cement has a workability 5 times greater than that of white cement, since the latter is much more reactive and the extrusion time is much less.

Due to this, the pieces that could be printed with white cement are smaller than the grey cement (Fig. 6).

Technical characteristics of cement.

The printable micro-concrete was developed looking for different technical characteristics including the control of its fluidity, its



Figura 6. Imagen ejemplo pieza hormigón blanco. BEMORE3D (2017) / Figure 6. Image of sample piece of white concrete. BEMORE3D (2017).

Debido a esto las piezas que se han podido imprimir con cemento blanco son de más reducido tamaño que las de gris (Fig. 6).

Características técnicas del hormigón

El microhormigón imprimible se desarrolló buscando diferentes características técnicas entre las que destaca el control de su fluidez, una consistencia determinada, una relación consistencia/fluidez adecuada, durabilidad óptima y alta resistencia inicial.

Además, al construir mediante un sistema de adición de capas preocupa la adherencia que se produce entre las capas de tongadas diferentes, siendo esta propiedad de adhesión objeto de estudio.

Estas características reológicas del hormigón están actualmente en fase de desarrollo y estudio por lo que se muestra el estudio de resistencias, desarrollado específicamente para la caracterización de este tipo de hormigones, mediante pruebas de resistencia a compresión a 24 horas, 3 días, 7 días y 28 días.

Se ha realizado la comparativa de resistencias con un probeta impresa y preparada para ser testada por rotura a compresión. Se indicarán resistencias medias (Fig. 7 y Tabla 2).

determined consistency, an adequate consistency/fluidity ratio, optimal durability and high initial resistance.

In addition, when building by means of a layer addition system, the adherence that occurs between the layers of different pieces is of concern, this adhesion property being the object of study.

These rheological characteristics of concrete are currently in the development and study phase which is why the resistance study, developed specifically for the characteristics of this type of concrete, is shown by compression resistance tests at 24 hours, 3 days, 7 days, and 28 days.

Resistance comparisons have been made with a printed specimen prepared to be tested by compression fracture. They will indicate medium resistances (Fig. 7 and Table 2).

Conclusions

Concrete 3D printing technology is advancing quickly in various regions of the world and the information published¹ shows the technology of 3D printing with concrete is a future scenario that works very quickly, that is automatic, works quickly and is perfectly reproducible.

Probeta/Test tube	24 horas/ hours	3 días/ days	7 días/ days	28 días/ days
Cúbica/Cubic 10x10x10	29.86 MPa	48.22 MPa	56.48 MPa	61.00 MPa
Impresa 3D/3D Printed	22.40 MPa	41.76 MPa	44.50 MPa	46.80 MPa

Tabla 2. Resumen resistencia a compresión. BEMORE3D (2018) / Table 2. Summary of compression resistance. BEMORE3D (2018).

Conclusiones

La tecnología de impresión 3D con hormigón está avanzando en varias regiones del mundo de forma rápida y se publica información¹ mostrando las tecnologías de impresión 3D con hormigón en un escenario futurista operando de forma muy rápida, autónoma y perfectamente reproducible.

Sin embargo, la gran mayoría de iniciativas se encuentran en niveles de desarrollo tecnológica muy bajos a nivel de simulación o pruebas en laboratorio ya que para avanzar se requiere el desarrollo paralelo de la impresora, el material y los requisitos constructivos. En cualquier caso, hay algunos avances tecnológicos que demuestran que la impresión 3D puede aplicarse eficazmente al sector de la construcción. Estas tecnologías ya han sido validadas en laboratorios y en algunos casos en entornos reales.

En base a los estudios realizados y a la fase de desarrollo en la que se encuentra este proyecto y esta tecnología, a corto plazo se empezarán a ver las primeras promociones de vivienda impresas en 3D.

En las diferentes roturas de piezas, tanto para estudio de resistencia como para estudios de forma y de relleno, se observa que no existe junta alguna entre la superposición de capas sino que interiormente el hormigón impreso es como el hormigón en masa.

El nuevo concepto constructivo propuesto es una nueva forma de construir, abaratando costes, tiempos de ejecución, residuos e incluso riesgos laborales además de estar obteniendo estructuras de altas resistencias.

Referencias bibliográficas

- AENOR. UNE-EN 196-1:2005 *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas*. Noviembre 2005.
- AENOR. UNE-EN 196-3:2005+A1 *Métodos de ensayo para cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad en volumen*. Noviembre 2009.
- AENOR. UNE-EN 12350-2:2009 *Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de Asentamiento*. Noviembre 2009.



Figura 7. Imagen sección probeta impresa. BEMORE3D (2017) / Figure 7. Image of printed test tube section. BEMORE3D (2017).

However, the great majority of initiatives are at very low levels of technological development when referring to simulation or laboratory testing, as advancing further requires a parallel development of the printer, the material and the building requirements. In any case, there are some technological advancements which demonstrate that 3D printing could effectively apply itself to the construction sector. These technologies have been validated in laboratories and in some cases in real environments.

Based on the studies carried out and the phase of development of this project and its technology, in the short term we will start to see the first developments of 3D printed housing.

In the breakage of pieces, both for resistance studies and for shape and filling studies, it is observed that there is no joint between the superposition of layers but internally the printed concrete is like mass concrete.

The new construction concept proposed is a new way to build, to reduce costs, time, waste and even labour accidents in addition to obtaining high resistant structures.

Bibliographic references

- AENOR. UNE-EN 196-1:2005 *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas*. November 2005.
- AENOR. UNE-EN 196-3:2005+A1 *Métodos de ensayo para cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad en volumen*. November 2009.
- AENOR. UNE-EN 12350-2:2009 *Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de Asentamiento*. November 2009.
- AENOR. UNE-EN 12350-5:2009 *Ensayos de hormigón fresco. Parte 5: Ensayo de la mesa de sacudidas*. April 2006.



Figure 8. Modelo real casa impresa 3D. BEMORE3D (2018). / Figure 8. Real model of printed house 3D. BEMORE3D (2018).

- AENOR. UNE-EN 12350-5:2009 *Ensayos de hormigón fresco. Parte 5: Ensayo de la mesa de sacudidas*. Abril 2006.
- Albiol Ibáñez, JR. (2015). *Estudio experimental de la adherencia entre laminados de GFRP y el hormigón* [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/58866.
- 3D-Printed Habitat Challenge. A NASA Centennial Challenge (Noviembre 2017) . https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/index.html (Consulta Enero 2018)

Vicente Ramírez Collado. 2011-2014: Graduado en Arquitectura Técnica por la Universitat Politècnica de València. 2009-2010: Ciclo formativo de grado superior en Aplicación y desarrollo de proyectos de construcción

José Luis Puchades Valencia. 2010-2013: Graduado en Arquitectura Técnica por la Universitat Politècnica de València. 2015: Máster en Nuevas Tecnologías de la Edificación por la Universitat Politècnica de València.

Joaquín Martín Rodríguez. 2011-2015: Grado de Ingeniería electrónica y automática industrial por la Universitat Politècnica de València. 2009-2011: Técnico superior de Mantenimiento de vehículos autopropulsados por el Centro de formación profesional de Ceste.

José Guillermo Muñoz Montes. 2006-2012: Graduado en Ciencia y Tecnología de la Edificación por la Universitat Politècnica de València. 2013-2015: Máster de Edificación especialidad en Nuevas Tecnologías de la Edificación por la Universitat Politècnica de València.

Notes

¹ 3D-Printed Habitat Challenge. A NASA Centennial Challenge (Noviembre 2017). https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/index.html (Enero 2018)

- Albiol Ibáñez, JR. (2015). Estudio experimental de la adherencia entre laminados de GFRP y el hormigón [Doctoral thesis, not published]. Universitat Politècnica de València. doi:10.4995/Thesis/10251/58866.
- 3D-Printed Habitat Challenge. A NASA Centennial Challenge (November 2017). https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/index.html (Viewed January 2018)

Vicente Ramírez Collado. 2011-2014: Graduate in Technical Architecture at Universitat Politècnica de València. 2009-2010: Higher level training cycle in application and development of construction projects.

Jose Luis Puchades Valencia. 2010-2013: Graduate in Technical Architecture at Universidad Politècnica de Valencia. 2015: Master in Building New Technology at Universitat Politècnica de València.

Joaquín Martín Rodríguez. 2011-2015: Graduate in Industrial electronic and automatic engineering at Universitat Politècnica de València. 2009-2011: Senior Maintenance Technician of self-propelled vehicles at Professional Training Centre in Ceste.

José Guillermo Muñoz Montes. 2006-2012: Graduate in Technical Architecture at Universidad Politècnica de Valencia .2013-2015: Master in Building New Technology at Universitat Politècnica de València.

Notes

¹ 3D-Printed Habitat Challenge. A NASA Centennial Challenge (November 2017). https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/index.html (January 2018)