

CONSTRUCCIONES CON IMPRESORA 3D COMO HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN EN EL FUTURO

Alumno: Carlos Andreu Montiel
Tutora: M. Angeles Álvarez Gonzalez
Grado en fundamentos de la Arquitectura
Escuela superior de arquitectura
2018/2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

Resumen

A comparación de otras industrias que también aparecieron durante la revolución industrial, la de la construcción es una de las que menos ha evolucionado en relación a la técnica constructiva y a la automatización de esta.

A día de hoy el proceso de ejecución de un edificio requiere de un coste de mano de obra más elevado que otras industrias. Esto lleva a la búsqueda de métodos en los que las máquinas sean capaces de generar un edificio con unas tolerancias menores que permitan un dimensionado de los elementos más ajustado de forma que no solo se reduzcan costes, sino que se obtengan edificios de mayor calidad de construcción.

Un enfoque para conseguir esto es la creación de una maquinaria que sea capaz de “imprimir” los edificios a partir de modelos en 3D.

Palabras clave: 3DCP, fabricación aditiva, impresión 3D, impresora 3D, hormigón

Abstract

In comparison with other industries that appeared during the industrial revolution, the construction industry is one that hasn't evolved that much in terms of building technique and automation.

Nowadays the execution process of a building has a higher labour cost than other industries. This led us to find methods in which machines are able to erect a building with smaller tolerance ranges in order to have an optimum dimensioning which help to achieve a higher construction quality with lower costs.

One approach for this is the creation of machines that could “print” buildings with a computerised 3D model.

Keywords: 3DCP, additive manufacturing, 3D printing, 3D printer, concrete

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que me han ayudado directa o indirectamente a elaborar este Trabajo de Final de Grado.

En primer lugar, mi tutora M. Ángeles por sus pautas y consejos, a José Guillermo de Bemore 3D quien me ayudó a conseguir información. Agradecer a mi compañero y amigo Carlos y a todos los compañeros de carrera que he conocido durante mi paso por el grado ya que han hecho que la carrera haya sido más fácil. Sobre todo, a mi amigo Nando y a Ángel que han sido como parte de mi familia.

En especial a mi familia por su apoyo y ánimos, sin ellos no hubiera llegado hasta aquí.

Objetivos

La redacción de este trabajo ha venido del hecho de que estas tecnologías se están haciendo más relevantes en el panorama actual. También ha sido relevante la posibilidad que presentan para crear vivienda a bajo coste en periodos de tiempo cortos en comparación al tiempo necesitado para crear una vivienda mediante las técnicas actuales

El presente trabajo tiene como objetivo conocer las aplicaciones de la impresión 3D en el mundo de la arquitectura mediante la construcción aditiva.

Para ello, se realiza una introducción al concepto de automatización y una introducción a los hormigones de alta resistencia para acabar con una explicación sobre el hormigón impreso.

A continuación, se hará un estudio de las diferentes tecnologías de impresión 3D en hormigón analizándolas detalladamente. Seguido de un estudio de la impresión 3D en metales.

Después de estos estudios se analizarán y compararán los diferentes métodos para conocer la posible aplicación de estas tecnologías en la arquitectura y su implantación.

Organización del TFG

La realización de este trabajo se ha basado en una búsqueda inicial de información online en páginas de investigación y especializadas: A continuación, se contactó con la empresa Bemore 3D quien ayudó a ampliar el espectro de páginas donde encontrar información. Finalmente se organizó la información y se plasmó en el trabajo.

El trabajo se organiza en tres partes:

1. Situación técnica actual. En este apartado se analizan los elementos relacionados con la impresión 3D tanto de forma directa e indirecta. Se analizará el prototipado rápido y la evolución de los hormigones de alta resistencia.

2. Tecnologías. Se analizará la técnica a través de las principales metodologías dentro de la impresión 3D tanto en hormigón como en otros materiales. En este análisis se tendrán en cuenta la maquinaria y las posibilidades de ejecución de todos los elementos que componen un proyecto arquitectónico.

3. Discusión de los resultados. Se plantean todas las posibilidades constructivas de estas tecnologías mediante su comparación para finalmente poder decidir si estas tecnologías podrían aplicarse dentro del mundo de la arquitectura.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. AUTOMATIZACIÓN	8
2.1. Prototipado rápido	9
2.2. Fases del prototipado rápido	10
2.3. Tipos de prototipado rápido	11
3. HORMIGÓN	12
3.1. Evolución del hormigón de alta resistencia	13
3.2. Hormigón GRC	15
3.3. Hormigón impreso	17
3.3.1. Propiedades básicas	17
3.3.2. Fraguado	18
4. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D	19
4.1. Contour Crafting	21
4.1.1. Que es	21
4.1.2. Maquinaria	22
4.1.3. Proceso	26
4.1.4. Construcción de forjados	28
4.1.5. Adhesión entre capas	29
4.1.6. Aplicaciones	30
4.2. D-Shape	32
4.2.1. Que es	32
4.2.2. Maquinaria	33
4.2.3. Proceso	34
4.2.4. Aplicaciones	35
4.2.5. Problemática	37
4.3. Concrete printing	37
4.4. Aplicaciones de estas tecnologías	38
4.5. Evolución	41
5. METALES (MX3D)	42
5.1. Que es	43
5.2. Maquinaria	44
5.3. Proceso	44
5.4. Posibilidades y ventajas	45
6. CUADRO SINÓPTICO	46
7. CONCLUSIÓN	48
8. BIBLIOGRAFÍA	50
NOTAS	52

1. INTRODUCCIÓN

En todos los ámbitos siempre ha sido necesaria la creación y estudio de modelos cuya creación se llevaba a cabo por artesanos y especialistas que utilizando medios y técnicas manuales hacían maquetas y dibujos tridimensionales de estos. Tras la revolución industrial ocurrida en el siglo XVIII estos métodos artesanos ya no tienen cabida debido a los cortos plazos que se tienen actualmente lo que ha hecho que se investiguen y desarrollen técnicas de prototipado rápido.

Por el contrario, debido a las limitaciones de los materiales y las técnicas utilizadas en la industria de la construcción esto no ha podido ser posible y se han mantenido los modelos realizados a mano. No fue hasta los años 80 cuando las investigaciones de personas como Behrokh Khosnevis y Enrico Dini empezaron a acercar las técnicas del prototipado rápido a la industria de la construcción.

2. AUTOMATIZACIÓN

La automatización es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con mínima o nula intervención del ser humano utilizados para optimizar y mejorar un proceso

2.1. Prototipado rápido

El prototipado rápido es un proceso industrial que permite crear un modelo tridimensional exacto de un producto mediante un programa tipo CAD. Este modelo puede ser utilizado a nivel estético para poder hacer estudios de mercado o servir en el proceso de diseño y fabricación para poder realizar pruebas funcionales antes de comenzar la fabricación final del producto.

Esta técnica consiste en la creación de modelos creados con sistemas CAD mediante la adición de material en diferentes capas, en contraposición a los sistemas CNC que se sirven de brocas para transformar un bloque macizo en un modelo tridimensional mediante la eliminación de material. (Figuras 1 y 2)

Esta técnica está en constante evolución, por esto los fabricantes siguen investigando alrededor de los materiales disponibles. El material principal es de tipo granular debido a la posibilidad teórica de generar cualquier forma, aunque también encontramos materiales líquidos con resinas y materiales sólidos en forma de láminas y alambres.

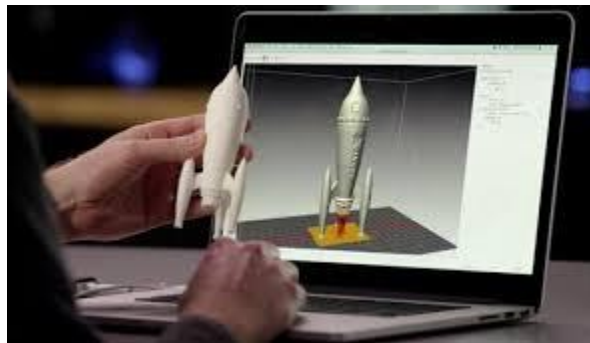


Figura 1. Ejemplo de elementos creados mediante prototipado rápido. Fuente: <https://bit.ly/2SPY0eB>



Figura 2. Ejemplo de elementos creados mediante prototipado rápido. Fuente: <https://bit.ly/31473M1>

2.2 Fases del prototipado rápido

El prototipado rápido se basa en la impresión como la conocemos comúnmente, pero con la complejidad de imprimir en un tercer eje, el eje Z.

1. Creación de un archivo TL

Es la fase previa a la creación del prototipo y consta en crear el modelo en un archivo STL. Este archivo descompone el modelo en una malla triangular lo que lleva a un error que puede minimizarse modificando el tamaño de la malla. Aumentando la densidad de triángulos por unidad de superficie se puede disminuir el error propio de este tipo de modelado.

2. Transformación del archivo STL en un modelo imprimible

Tras generar el archivo STL debe comprobarse que no tiene errores mediante un software específico para después realizar las siguientes acciones:

- Orientar la pieza para optimizar la impresión de la pieza.
- Generar soportes auxiliares para la correcta impresión de la pieza
- Generar el *slicing* de la pieza, es decir, crear las diferentes capas en las que se va a imprimir el modelo. De esto depende el acabado final de la pieza.

3. Impresión del prototipo

Es la fase en la que el archivo final se envía a la máquina para comenzar el proceso de impresión en capas para realizar el modelo final. En función de las dimensiones del prototipo este proceso puede durar varias horas, por lo que la segunda fase cobra una gran importancia.

4. Tratamientos de acabado final

Tras la impresión del prototipo obtenemos un modelo cuyo acabado no es perfecto. En esta fase se realizan todas las operaciones para eliminar los soportes de la pieza y dar el acabado deseado al prototipo.

2.3 Tipos de prototipado rápido

La tecnología del prototipado rápido está muy evolucionada en la industria actual y permite generar modelos en 3D mediante una serie de tecnologías como:

- **Estereolitografía:** Es un procedimiento en el cual se solidifica una resina en estado líquido mediante un láser ultravioleta.
- **Polyjet:** Es un proceso que permite la creación de objetos combinando diferentes materiales y colores a través de la combinación de la tecnología Inkjet y el uso de fotopolímeros dos materiales se solidifican al contacto con la luz ultravioleta. Este proceso no necesita crear capas.
- **Drop on demand:** Es un proceso en el que se usan dos chorros de tinta para imprimir líquidos viscosos: uno deposita el material y el otro deposita el aglutinante.
- **Electron Beam Melting:** Es un proceso en el que las capas de polvo metálico se funden con un haz de electrones, creando una pieza completamente densa.
- **Limited Object Manufacturing:** Es un proceso en el que se parte de láminas de un material sólido que se cortan mediante un láser y se combinan para crear la forma final.
- **Selective Laser Melting:** Es un proceso en el que se deposita una capa de polvo de un metal sobre una cuba calentada donde un láser de alta potencia sinteriza el polvo en ciertos puntos.
- **Multi Jet Modelling:** Es un proceso que consta de varias cabezas inyectoras de un material fotopolímero depositado en forma de gotas que al exponerse a luz UV se solidifican.
- **Fused Deposition Modelling:** Es un proceso que trata de una cabeza que funde el filamento de plástico y es depositado sobre una base calefactada. Este material depositado va haciendo capas, este proceso se repite fabricando un modelo capa a capa.

3. HORMIGÓN

3.1 Evolución del hormigón de alta resistencia

En la industria de la construcción se ha utilizado el hormigón armado debido a las ventajas formales, de versatilidad y económicas que presenta en comparación a otros materiales utilizados en la construcción.

La puesta en obra de este hormigón siempre se ha hecho de manera tradicionales con unas fases que apenas han cambiado hasta la actualidad: replanteo de los elementos, la colocación del encofrado, la colocación del armado, el hormigonado de las piezas y el proceso de curado y endurecimiento de las piezas; podríamos decir que no ha habido una gran innovación es esta técnica.

Una de las evoluciones más notable ha sido la utilización de la técnica del *Shotcrete* o del hormigón proyectado. Esta técnica fue creada en 1907 por el inventor americano Carl Ethan Akeley y original mente consistía en aplicar los materiales secos de forma neumática aplicando agua a la salida. A partir de los años 50 se empezó a utilizar el hormigón proyectado de vía húmeda y el año 1966 el ACI (Instituto Americano del Hormigón) aceptó el término *shotcrete* para denominar en esta técnica incluyendo la vía seca de C. Ethan y la vía húmeda. (Figura 3)



Figura 3. Proyección de hormigón en una obra. Fuente: <https://bit.ly/2LOazGS>

En la década de 1970 comenzó a utilizarse las fibras metálicas para mejorar las propiedades del hormigón, una técnica que se llevó a los hormigones utilizados en los procedimientos más tradicionales.

El hormigón es un material que tiene una resistencia a compresión elevada pero cuya resistencia a tracción es bastante reducida, lo que llevó ya en el siglo XIX a la utilización de armaduras embebidas para mejorar su resistencia a tracción.

Durante el siglo pasado se ha investigado y se ha conseguido mejorar este material mediante el uso de fibras metálicas, inorgánicas y poliméricas. La adición de estas fibras en la base cementante ha conseguido una disminución del coste de construcción y la posibilidad de que el hormigón actúe estructuralmente debido a la mejora en la resistencia a flexotracción, en la tenacidad y al control de la fisuración que permiten las fibras. Según la EHE 08, las fibras se clasifican según su naturaleza en fibras de acero, fibras inorgánicas y fibras poliméricas.

Estas mejoras del hormigón al añadir las fibras dependen principalmente de diversas propiedades de estas como su forma, su orientación, la cantidad de fibras por unidad de volumen y el tipo de fibras utilizadas. (Figura 4)



Figura 4. Detalle de las fibras de un hormigón de alta resistencia. Fuente: <https://bit.ly/2ZdMBYB>

3.2 Hormigón GRC

El GRC o *Glassfibre Reinforced Cement* es un material compuesto, formado por una matriz de cemento Portland reforzado con fibras de vidrio resistentes a álcalis.

Este tipo de hormigón surge en Europa tras los estudios de los años 60 para superar los problemas de los microcementos surgidos a principios del siglo XX, los cuales se basaban en los problemas de salud que ocasionaban las fibras de amianto que se utilizaban para reforzar el hormigón.

En esta época comenzó a comercializarse este material en placas de GRC que tenían una estructura metálica interna, el conocido sistema skin+stud frame el cual es el sistema más utilizado a día de hoy en la creación de fachadas de GRC.

-Manufactura

Este sistema se basa en paneles de bajo peso y bajo espesor. La manufactura de los paneles consta del uso de moldes donde, mediante terminales-pistola, se proyecta el GRC formando capas de un espesor aproximado de 2-3mm que van compactándose con rodillos para formar el espesor total de la pieza. Dependiendo del acabado buscado la primera capa proyectada se realiza con hormigón no reforzado por las fibras con la finalidad de que estas no se observen en la superficie de las piezas.

Actualmente estas piezas se pueden conseguir mediante los siguientes métodos:

-Proyección simultánea: en este método se utiliza una pistola de doble boquilla que proyecta por una parte el mortero y por otra la fibra que la propia máquina corta.

-Premix: en este método se mezcla el mortero y la fibra AR en una dosificación baja de alrededor del 4% antes de colocarla en el molde. Esto permite que la mezcla se pueda verter en el molde y posteriormente se vibre o que se proyecte directamente en el molde.

-Proyección automática: para ciertos elementos se utiliza un robot compuesto por una pistola de proyección sujeta a un equipo mecanizado y automatizado que realiza un movimiento de ida y vuelta sobre los moldes que circula por debajo de la máquina.

-Tipologías

Este tipo de productos se utilizan principalmente en la creación de fachadas y cerramientos, en restauración de fachadas y gracias a su composición sería una posible candidata para utilizarse en la impresión de piezas de hormigón en 3D. (Figuras 5 a 10)



Figura 5. Skin+Stud frame

Fuente: <http://cort.as/-PKwX>



Figura 6. Panel nervado

Fuente: <http://cort.as/-PKwX>



Figura 7. Celosía

Fuente: <http://cort.as/-PKwX>



Figura 8. Placa simple

Fuente: <http://cort.as/-PKwX>



Figura 9. Panel sandwich

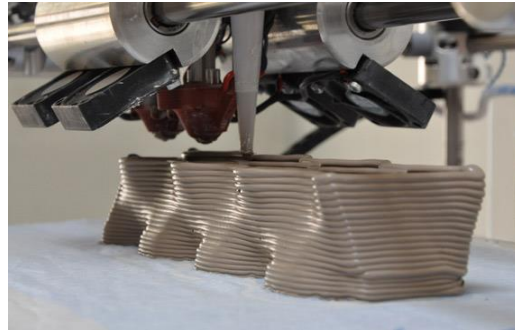
Fuente: <http://cort.as/-PKwX>



Figura 10. Placa simple rebordeada

Fuente: <http://cort.as/-PKwX>

3.3 Hormigón impreso



Figuras 13 y 14. Impresión del hormigón. Fuente: <https://cutt.ly/MMkqlg>

La industria de la construcción ha sido conocida por ser una de las industrias que menos ha evolucionado a nivel técnico y de automatización. En la búsqueda de esta evolución técnica se ha puesto la mira en las técnicas del prototipado rápido aplicadas en otras industrias.

Esta automatización presente otros sectores ha llevado a solucionar diversos problemas enfocados en la disminución de costes y de tiempo de manufacturación, dando a su vez una gran libertad a la hora de diseñar. (Figuras 13 y 14)

3.3.1 Propiedades básicas

Para poder utilizar el hormigón para la impresión 3D este debe cumplir una serie de requisitos:

- **Poder ser impreso:** El material debe tener una fluidez suficiente para poder ser extruido a través de la boquilla.
- **Poder ser bombeado:** El material debe tener una consistencia suficiente para poder circular hasta la boquilla de extrusión.
- **Resistencia a corto plazo:** El material debe tener una resistencia suficiente para poder mantener su forma y aguantar su peso y el del material superior sin deformarse.
- **Tiempo de trabajo:** El material debe mantener las características anteriores durante un tiempo determinado.

3.3.2 Fraguado

Dentro de las propiedades del hormigón una de las más críticas es el fraguado del hormigón, un proceso durante el cual mediante reacciones químicas entre el cemento y el agua la pasta de cemento endurece.

Hay una serie de factores que afectan de forma directa al fraguado del hormigón. Entre estos se encuentra los siguientes:

- **Relación de agua y conglomerante:** Para que ocurra la hidratación y fraguado del hormigón es necesaria una cantidad de agua que interactúe con el conglomerante. Utilizar relaciones de agua/conglomerante bajas permite la obtención de un fraguado rápido: utilizando ciertos aditivos puede complementar a esas cantidades de agua tan bajas.

- **Finura del cemento:** Para conseguir un fraguado más rápido es necesaria una superficie específica alta, es por esto que, con cementos más finos, es decir, hormigones con partículas más pequeñas, conseguimos una superficie específica mayor que reduce el tiempo de hidratación y fraguado.

- **Tipo de cemento utilizado:** Esto depende de la composición y de la cantidad de clinker, que es el componente principal del cemento. Para conseguir una hidratación más rápida podría utilizarse más clinker debido a que habría más cantidad de aluminato tricíclico que reaccionara con el agua. Por otra parte, la normativa recomienda el uso de cementos con más silicatos que aluminato tricíclico.

- **Temperatura:** La velocidad de fraguado varía según la temperatura ambiental. Con temperaturas cercanas a los 30°C el fraguado se acelera y se disminuye el tiempo de fraguado.

- **Uso de adiciones:** Estos son materiales que pueden ser tanto inorgánicos, con hidraulicidad latente o puzolánicos que se pueden añadir al hormigón para reducir la cantidad de cemento utilizada y mejorar algunas características físicas o químicas.

Las adiciones pueden dividirse en dos grupos principales:

- Adiciones activas: son aquellas que tienen una actividad puzolánica y reaccionan químicamente modificando la hidratación del cemento.

- Adiciones inertes: son aquellas que no reaccionan y que sirven para suplir los tamaños más finos en la curva granulométrica del hormigón.

- **Uso de aditivos:** Estos materiales se añaden al conglomerante en unas proporciones precisas para mejorarlas propiedades del conglomerado de forma permanente.

Actualmente hay diversos tipos de aditivos entre los que se encuentran los siguientes: plastificantes, superplastificantes, aceleradores de fraguado, retardantes de fraguado, inclusores de aire, aceleraciones de endurecimiento, hidrófugos de masa y multifuncionales.

4. TECNOLOGIAS DE IMPRESIÓN 3D DE HORMIGÓN

Dentro de los procesos de fabricación en la industria encontramos la fabricación aditiva (Additive Manufacturing). Esta tecnología es aquella en la que se utiliza maquinaria automatizada para generar modelos tridimensionales a partir de un modelo computerizado. Esta tecnología consiste en la creación de diversas capas depositando un material que puede ser un sólido, un líquido o polvo sobre una superficie delimitada.

La fabricación aditiva surge a mediados de la década de los 80 cuando Chuck Hill patentó el sistema llamado estereolitografía y fundando su propia empresa. No fue hasta mediados de la década de los 90 cuando empezaron a surgir los primeros estudios sobre la aplicación de la impresión 3D en la industria de la construcción donde se sugería la incorporación de hormigones de alta resistencia. A partir de este momento surgieron las tecnologías que encontramos a día de hoy en el mercado.

Los procesos de fabricación aditiva como el de impresión de hormigones siguen procesos muy similares, aunque dependiendo del método de fabricación hay pequeñas diferencias.

1. Creación y transformación de un archivo STL: Esta es la fase previa a la impresión del modelo y consta en general el archivo STL mediante un programa específico como Rhinoceros o CATIA. Una vez se tiene el modelo se pasa al proceso de convertir las superficies en una nube de puntos triangular. Según la densidad de esta triangulación tendremos una mayor cantidad de datos y de un mayor peso del archivo que conllevan a un mayor tiempo de impresión.

2. Impresión del elemento: En esta fase el modelo se envía a una impresora 3D para que se imprima el elemento. Las características de la impresión y de su acabado final dependen de la tecnología utilizada, las cuales se explicarán más adelante. Dependiendo de la tecnología utilizada este puede ser el paso final.

3. Tratamiento y acabado final: En esta fase se realizan todas las operaciones para eliminar los soportes de la pieza, dar el acabado superficial deseado, eliminar excesos e incluso mejorar las propiedades finales de la pieza.

4.1 Contour crafting

4.1.1 Que es



Que es el contour crafting. Fuente: <http://cort.as/-PL5I>

Esta tecnología de fabricación se basa en la investigación efectuada por el director de Manufacturing Engineering Graduate Program e ingeniero Behrokh Khosnevis y su posterior patente. Estas investigaciones trataban de conseguir la automatización de los procesos constructivos en la industria de la construcción, basándose para ello en los sistemas de prototipado rápido utilizados en medicina.

El contour crafting se basa en la fabricación por capas “Layer by layer” para generar mediante ordenador elementos y controlar su impresión y fabricación. Esta tecnología permite la creación de elementos cuyos acabados superficiales pueden ser planos o de cualquier forma mientras que se puedan diseñar unas paletas para replicarlo. (Figuras 15 y 16)



Figura 15. Oficinas en Dubai construidas por WinSun. Fuente: <http://cort.as/-M58Y>



Figura 16. Vivienda construida por WATG. Fuente: <http://cort.as/-M59J>

4.1.2 Maquinaria

La herramienta utilizada para la impresión consta de un sistema de extrusión que se complementa con dos paletas direccionales que permiten crear superficies lisas en elementos rectos y curvos.

El sistema completo consta de los siguientes elementos: (Figura 17)

- Una tolva para almacenar el material.
- Una boquilla extrusora. (Figura 18)
- Dos paletas paralelas entre sí.
- Ordenador para el control de las paletas.

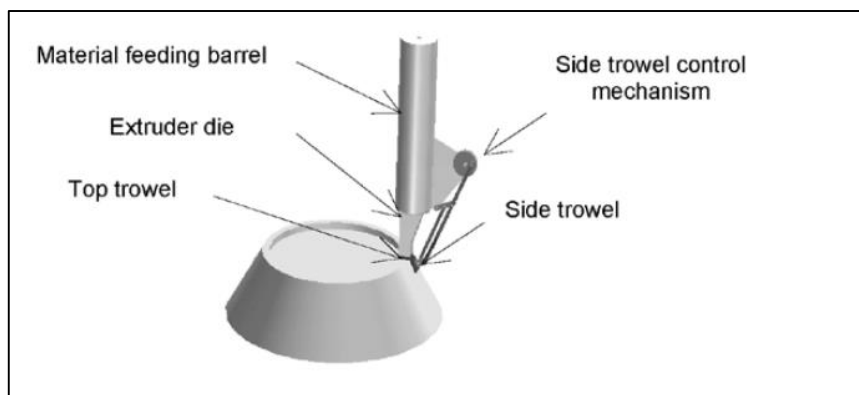


Figura 17. Esquema de la máquina. Fuente: <http://cort.as/-M50j>

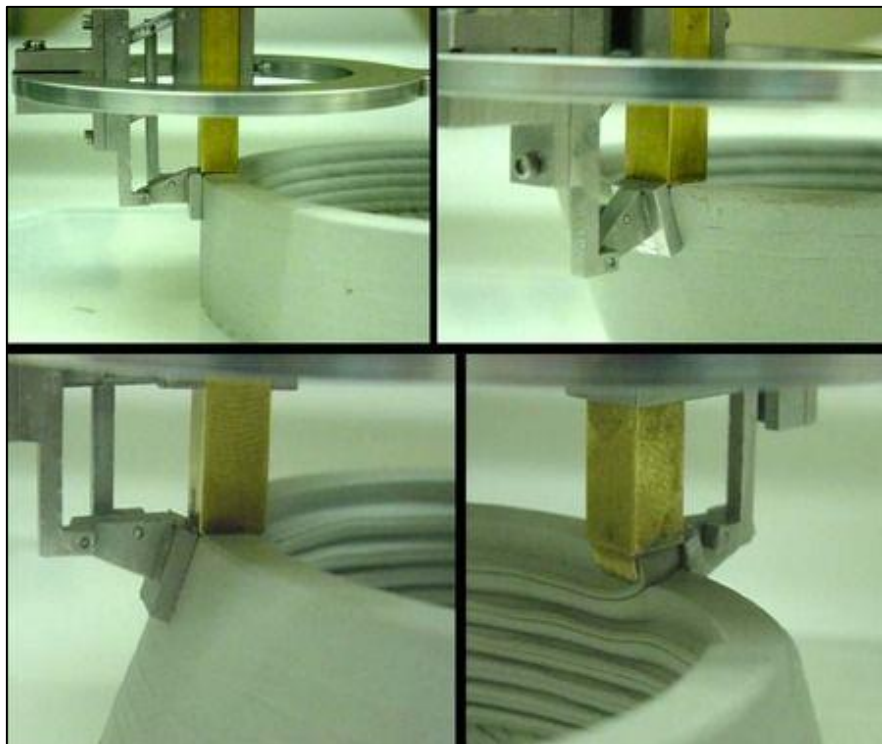


Figura 18. Imágenes de detalle de la boquilla de extrusión. Fuente: <http://cort.as/-M50J>

Esta configuración de la que se habla es un esquema que puede adaptarse a las exigencias del proyecto. En elementos de grandes dimensiones la maquinaria puede acoplarse en un sistema de pórtico como el utilizado por la empresa valenciana Bemore 3D en el que el pórtico permite mover la boquilla extrusora a lo largo del pórtico mientras este se mueve sobre unos carriles. (Figura 19)



Figura 19. Sistema de impresión de la empresa Bemore3D. Fuente: <http://cort.as/-M53G>

Otro sistema utilizado es el basado en la utilización de una boquilla colgada de un marco mediante cables. Este tipo de sistemas permite aumentar la superficie útil de impresión y a su vez facilita el transporte de la impresora debido al menor peso del sistema y una reducción del coste de la impresora. (Figura 20)

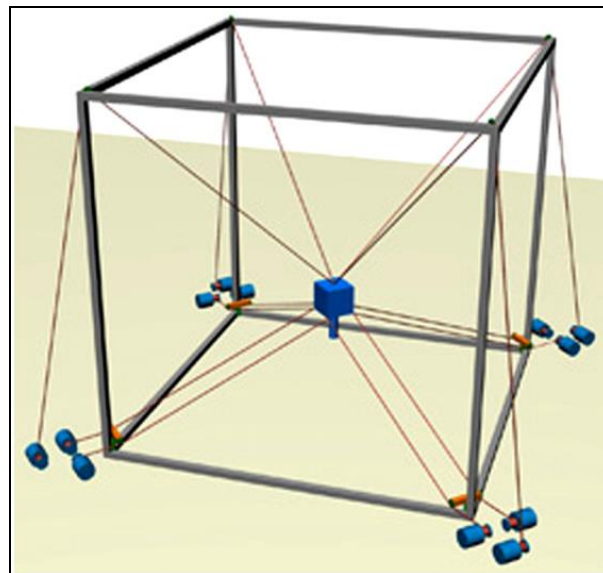


Figura 20. C⁴ Robot. Fuente: <http://cort.as/-M71s>

Para otras necesidades la máquina puede incorporarse a un brazo telescópico que simula los movimientos puede realizar un humano gracias al sistema de 6 ejes en el que se basan. Este tipo de maquinaria permite su recolocación en el solar donde se esté ejecutando el edificio mediante una grúa móvil como la impresora creada por la empresa rusa Apis Cor House (Figura 21) o se puede colocar sobre orugas para aumentar la autonomía de la impresora como ocurre con el robot Cazza X1 (figura 22).



Figura 21. Máquina de Apis Cor. Fuente: <http://cort.as/-M54Y>



Figura 22. Robot Cazza X1. Fuente: <http://cort.as/-M54Y>

Este acercamiento a la utilización de robots que puedan desplazarse por ellos mismos podrá llevar a una automatización mayor que permitiría poder utilizar una mayor cantidad de equipos que puedan construir de manera simultánea un mismo proyecto. (Figura 23)

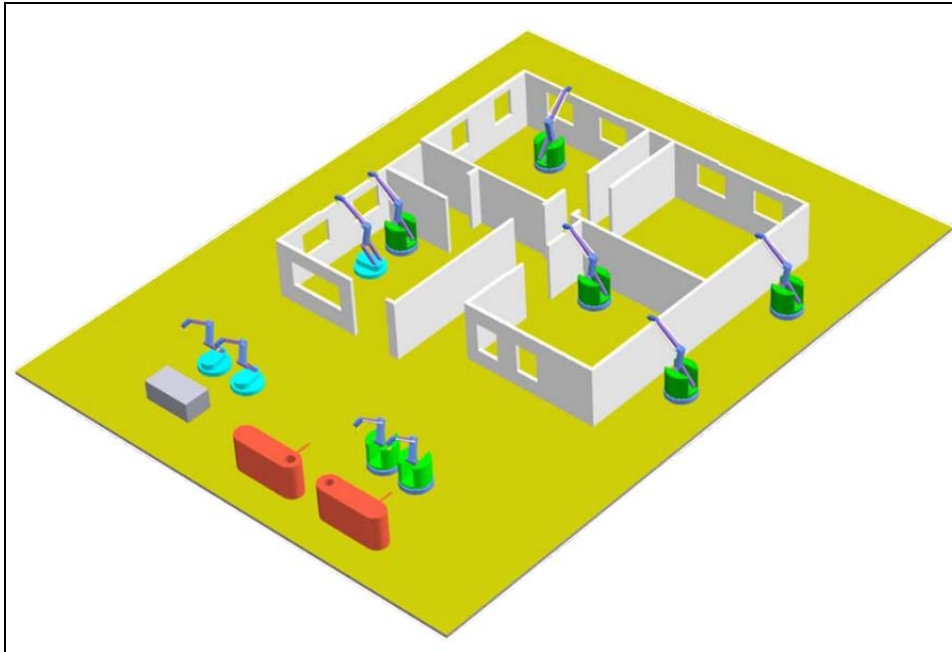


Figura 23. Ejemplo de trabajo simultáneo hecho por robots móviles. Fuente: <http://cort.as/-M57g>

Un enfoque de esta tecnología es la aplicación en la creación de colonias en otros planetas debido a la posibilidad de crear estructuras sin ningún soporte auxiliar y de utilizar materiales situados en el entorno. Ha habido estudios que han demostrado la viabilidad de utilizar regolito de la luna sintetizado como sustituto del cemento que permita crear edificios, como quedó recogido en la Space Solar Power organizada por la USC. En el año 2019 la NASA también organizó un desafío de hábitat en Marte donde la empresa Al SpaceFactory se alzó con la victoria al imprimir una vivienda con un polímero de basalto que se encuentra en Marte. (Figura 24)

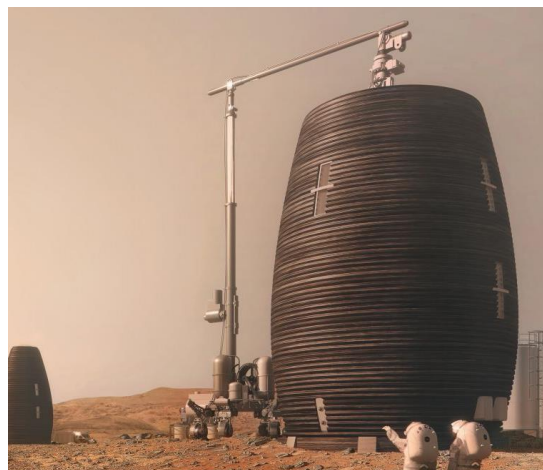


Figura 24. Proyecto ganador del NASA 3D-Printed Habitat Challenge. Fuente: <http://cort.as/-M5FE>

4.1.3 Proceso

El contour crafting es una tecnología basada en dos procesos independientes que deben unirse.

1. **Proceso de extrusión:** este consta en la creación de los bordes exteriores del edificio utilizando la boquilla que tenía acopladas las dos paletas que ayudan a dar un acabado liso. La orientación de estas paletas permite la creación de superficies inclinadas e incluso cúpulas. (Figura 25)

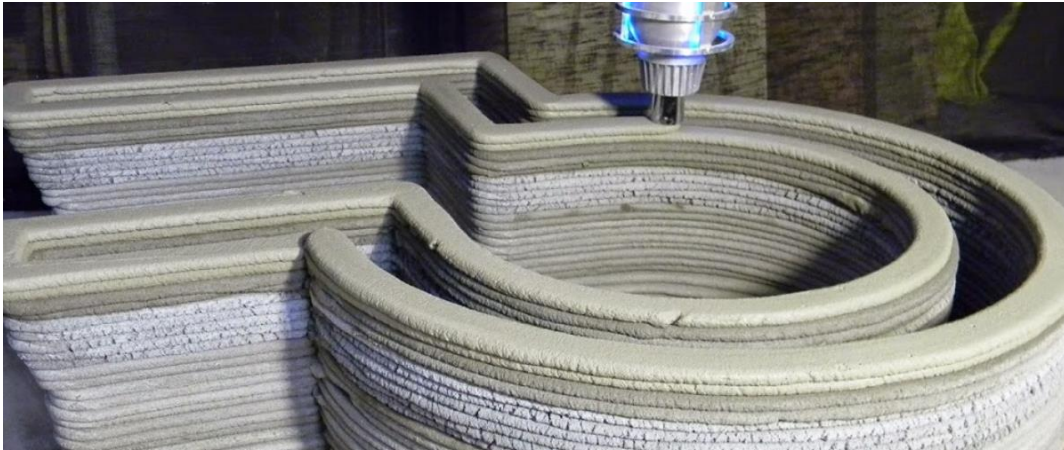


Figura 25. Extrusión del borde exterior del muro. Fuente: <http://cort.as/-M5PY>

2. **Proceso de llenado:** este consta en la creación del núcleo de las paredes. Este proceso se hace tras realizar cada capa, de forma que el material se vierte dentro de los bordes. (Figura 26)

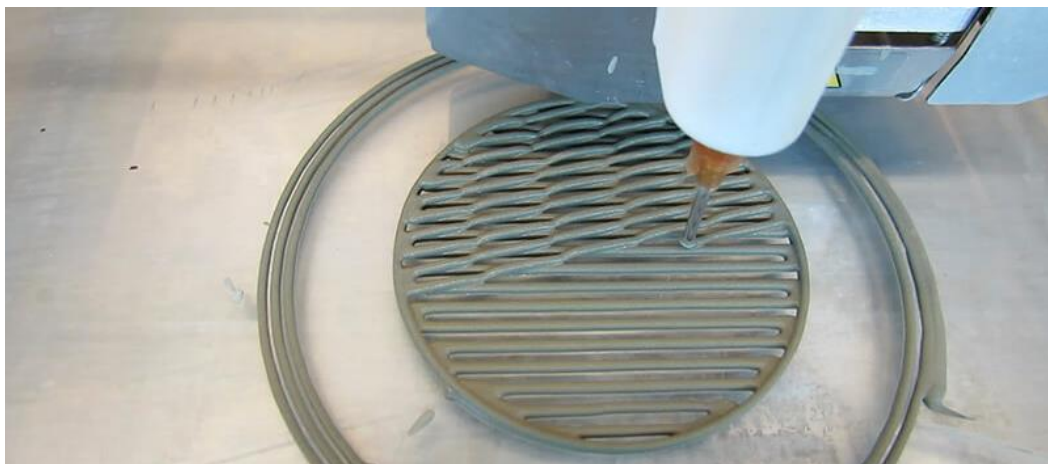


Figura 26. Llenado del núcleo del elemento. Fuente: <http://cort.as/-M5Ps>

El hecho de que esto sean dos procesos independientes permite que puedan ser de materiales distintos lo cual puede ser beneficioso dependiendo del clima en el que se encuentre la construcción. Esto es controlado mediante un ordenador que permite variar la dosificación y cantidad de hormigón que se coloca en cada zona.

Colocación de instalaciones



Colocación de instalaciones. Fuente: <http://cort.as/-PL66>

El sistema *Layer by layer* permite la colocación automática de instalaciones dentro del propio muro.

En cuanto a la instalación eléctrica se utilizan unos módulos de un material no conductor que contiene un elemento conductor. Estos módulos tienen un sistema machihembrado que permite que un robot pueda colocarlos y unirlos. Además, estos módulos pueden crearse con un machihembrado en un lateral para poder conectar módulos que tengan acceso desde las paredes como enchufes o contadores. (Figura 27)

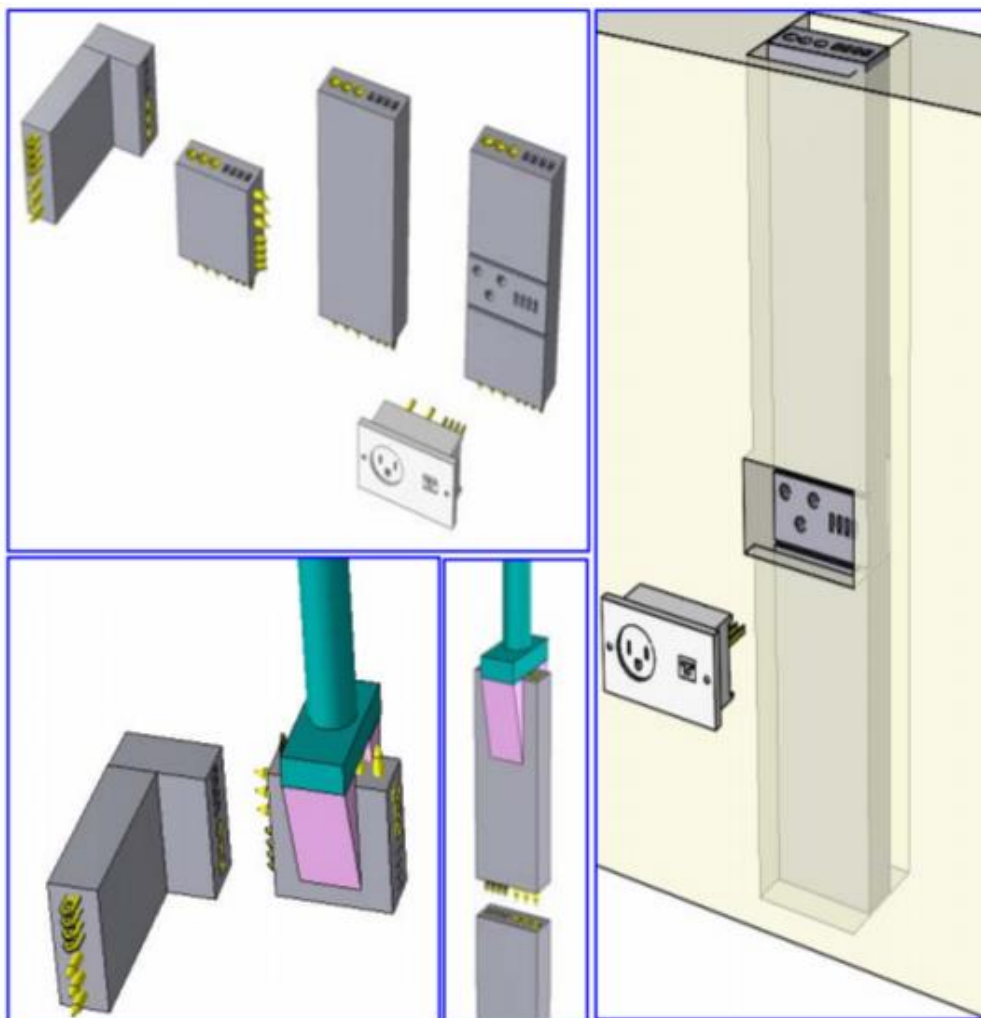


Figura 27. Sistema modular para instalaciones eléctricas. Fuente: <http://cort.as/-M57g>

En relación a las instalaciones de fontanería la forma de actuar es muy similar a las instalaciones eléctricas, cada determinado número de capas de hormigón un sistema robotizado coloca una tubería junto a otro segmento que ya esté instalado.

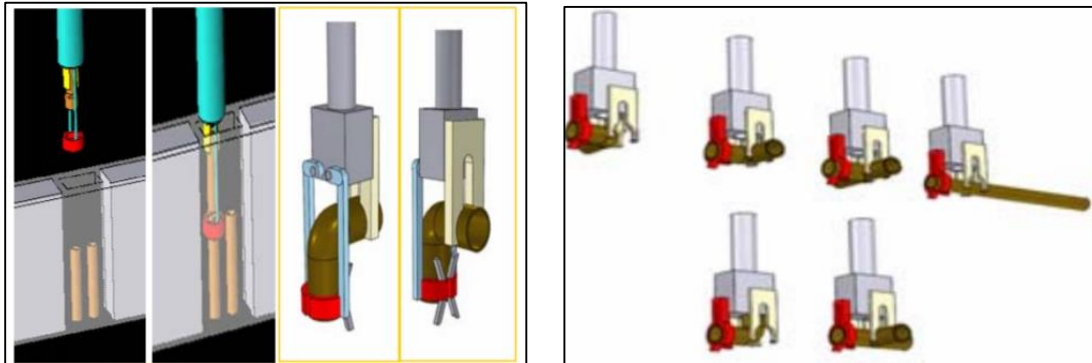


Figura 28. Módulos del sistema de fontanería y sistemas de conexión. Fuente: <http://cort.as/-M57g>

En el caso de tuberías metálicas, el robot que coloca las tuberías tiene acoplado un anillo que se calienta haciendo que al activarse las secciones de la tubería queden soldadas creando una unión estanca. (Figura 28)

4.1.4 Construcción de los forjados

Una de las limitaciones actuales es la creación de elementos horizontales suspendidos, lo que dificulta la construcción de forjados y cubiertas planas. Para ello la solución que se propone está basada en los forjados de chapa colaborante.

A la hora de crear un forjado, las máquinas auxiliares ubicadas en la obra elevan unas vigas que tienen ancladas unas placas que sirven de encofrado de forma que, una vez colocadas, una impresora con un brazo telescópico puede verter el hormigón y continuar creando la planta superior. (Figura 29)

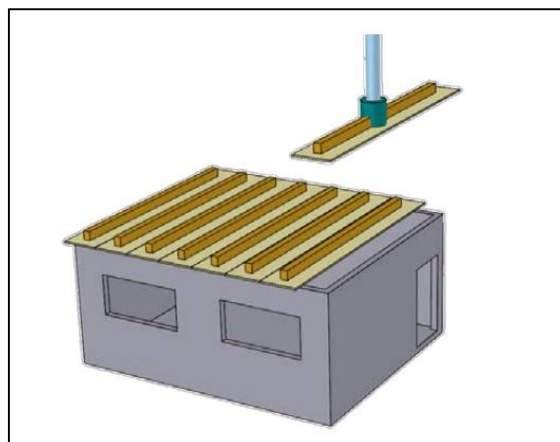


Figura 29. Colocación de las vigas sobre el edificio. Fuente: <http://cort.as/-M57g>

4.1.5 Adhesión entre capas

Uno de los problemas de esta tecnología se basa en su construcción *Layer by layer* ya que a priori puede parecer que esas capas no se pueden unir y la estructura puede colapsar por ello. No obstante, a día de hoy hay dos formas de afrontar este problema.

1. Armadura de refuerzo

Mediante la utilización de un robot es posible la colocación de armaduras entre cada capa. Este método se basa en un sistema modular de 3 piezas que se introduce en la capa inferior y posteriormente la impresora coloca material encima. (Figura 30)

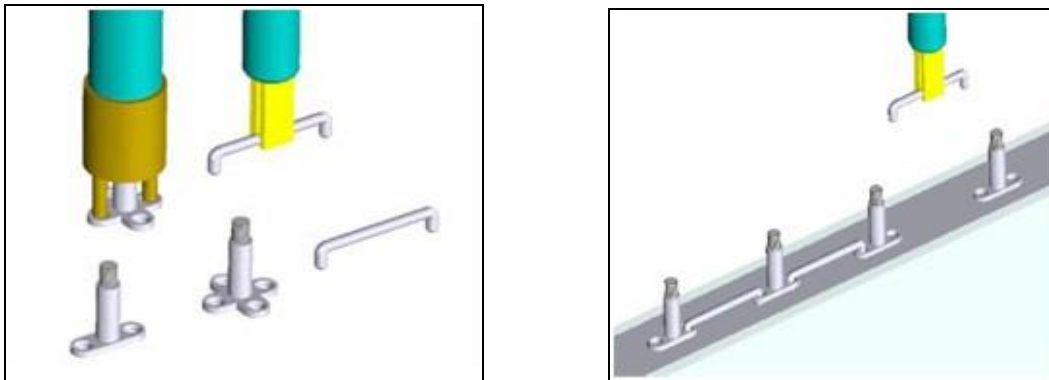


Figura 30. Módulos y aplicación de la armadura. Fuente: <http://cort.as/-M57g>

Este sistema también permite la creación de mallas tridimensionales para la creación de elementos macizos de mayor espesor como podrían ser pilares.

2. Refuerzo mediante fibras

Las posibilidades de tener boquillas de un tamaño relativamente grande permiten que durante la impresión del hormigón este pueda contener una cantidad de fibras mayor que permita la unión de las diferentes capas.

3. Aplicación de capas intermedias

Los investigadores de la Swinburne University of Technology Taylor Marchment, Jay Sanjayan y Ming Xia estudiaron posibles métodos para reforzar las uniones entre capas mediante morteros. El problema fundamental reside en una de las bases de del hormigón impreso, el fraguado rápido, lo que dificulta la adhesión entre las capas. (Figura 31)

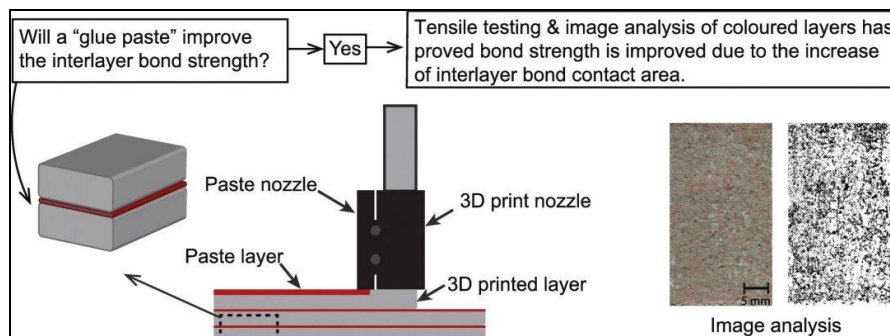


Figura 31. Detalle de la composición de las capas de hormigón. Fuente: <http://cort.as/-M7AJ>

Para los estudios se utilizó un extrusor accionado por un pistón y se realizaron probetas de 50x30x30mm las cuales se testaron a los 7 días obteniendo un valor mínimo de resistencia media a compresión de 34MPa.

4.1.6 Aplicaciones

A día de hoy la tecnología Contour Crafting permite una aplicación relativamente simple. Hay diversos beneficios en utilizar el contour crafting como los tiempos de construcción reducidos y el reducido coste material. Son estas características las que han facilitado su uso en estas aplicaciones.

- **Construcción:** dentro de un vecindario en el que hay diferentes viviendas con diferentes diseños esta tecnología permite la construcción automática y continuada de las viviendas. Dentro de esta industria el contour crafting aporta dos ventajas que hacen que esta tecnología pueda utilizarse de forma óptima: (Figura 32)

- Flexibilidad en el diseño: Este proceso permite que los arquitectos puedan proyectar geometrías poco comunes y que con las técnicas actuales serían muy costosas y difíciles de construir.
- Gran variedad de materiales: Se pueden utilizar diversos materiales tanto para la parte externa como para la parte interna. El material que se imprime y la cantidad se controla mediante un ordenador.

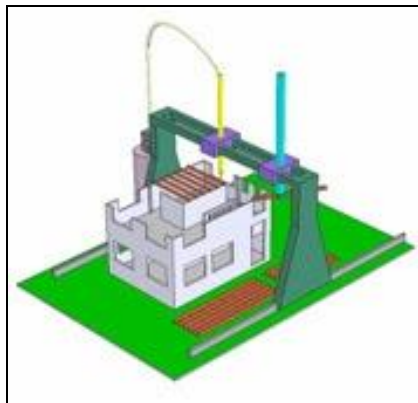


Figura 32. Vivienda construida mediante contour crafting. Fuente: <http://cort.as/-M50j>

- **Vivienda de bajo presupuesto y vivienda de protección pública:** actualmente la población mundial está creciendo a un ritmo muy alto especialmente en los países subdesarrollados donde no se puede financiar ese crecimiento. En estos países los barrios bajos son la alternativa a una población de muy pocos recursos. La velocidad de construcción de contour crafting sería una solución para permitir ese crecimiento manteniendo unas condiciones de salubridad. (Figura 33)



Figura 33. Barrio de India. Fuente: <http://cort.as/-M75c>

- **Vivienda de emergencia:** parte de la población sufre problemas por guerras y desastres económicos entre otros. En estos casos es necesario proveerles de un hogar en un periodo de tiempo lo más corto posible. El contour crafting puede proveer de viviendas de buena calidad a un coste reducido. (Figura 34)



Figura 34. Barracones construidos por la marina de EEUU. Fuente: <http://cort.as/-M769>

4.2 D-shape

4.2.1 Que es



Que es el D-Shape. Fuente: <http://cort.as/-PL9I>

Esta tecnología se desarrolla a mediados de los años 90 por un ingeniero civil y mecánico llamado Enrico Dini cuya familia siempre estuvo conectada con el mundo matemático.

Esta tecnología permite la creación de elementos de cualquier forma o tamaño, de una o varias piezas sin el uso de moldes. La principal diferencia con las otras tecnologías reside en el material utilizado en la impresión, en contraposición a la impresión de un material premezclado, en esta tecnología se utiliza una mezcla seca obtenida de forma natural del proceso de desalinización del agua marina, sobre esta se inyecta un catalizador inorgánico que no es tóxico y tiene una alta resistencia a tensión.

La posibilidad de crear cualquier forma que aporta esta tecnología suple las deficiencias que presentan los materiales que encontramos en la industria de la construcción, materiales de un coste alto y que aumentan la complejidad de obras con formas orgánicas obligando a hacer encofrados y andamiajes especiales. (Figuras 35 y 36)



Figuras 35 y 36. Ejemplos de elementos creados mediante D-shape. Fuente: <http://cort.as/-MARz>

4.2.2 Maquinaria

La máquina original, fabricada en aluminio, consta de un sistema de pórticos que consta de unas vigas metálicas de 6 metros apoyadas en unos pilares de 3 m de alto situados sobre ruedas, lo que consigue una superficie imprimible de 5x5m.

Cada columna contiene un electromotor que permite elevar la boquilla y que pueden alargarse hasta los 6 metros para aumentar la altura imprimible.

Sobre esta estructura se encuentra otra viga doble de 6m que soporta la última viga que contiene los inyectores. Estos se colocan perpendiculares a esta viga con una separación de 20mm de forma que con cada pasada se cubra toda la superficie. (Figuras 37 y 38)



Figuras 37 y 38. Máquina de impresión y detalle de los inyectores. Fuente: <http://cort.as/-MARz>

Además, se utiliza una tolva de 1800 litros que permiten que la impresora funcione de forma independiente durante 12 ciclos. De esta tolva se aspirará la mezcla mediante una serie de bombas.

Finalmente, el control de la máquina se realiza desde una plataforma donde se encuentran los mandos controlados por un operario.

La ventaja de esta máquina reside en que es un sistema modular, por lo tanto, puede desmontarse y ser transportada a otro lugar con facilidad. Esto permite que la máquina pueda utilizarse en cualquier parcela a la que pueda acceder un furgón. (Figura 39)



Figura 39. Furgón de transporte de la máquina. Fuente: <http://cort.as/-MARz>

4.2.3 Proceso

El D-shape consta de una serie de procesos basados en la impresión, limpieza y acabado final y son los descritos a continuación:

1. Introducción de la mezcla en la tolva: la mezcla seca se introduce en el interior de la tolva para que después se envíe a los inyectores.

2. Depósito de la capa de mezcla: los inyectores se desplazan a lo largo de la superficie de impresión y depositan la mezcla formando una superficie lisa y homogénea.

3. Compactación: se pasan unos rodillos sobre la mezcla para compactar la superficie y prepararla para la aplicación del material ligante. (Figura 40)



Figura 40. Nivelado de la capa. Fuente: <http://cort.as/-MBIf>

4. Impresión del ligante: las boquillas colocadas junto a los inyectores inyectan el ligante de forma automática cerrándose y abriéndose según la forma a conseguir.

5. Eliminación de mezcla no consolidada: mediante un sistema de filtrado situado bajo la superficie de impresión se aspira el exceso de mezcla y se reenvía a la tolva para ser reutilizado. (Figura 41)



Figura 41. Eliminación de la mezcla seca. Fuente: <http://cort.as/-MBIf>

6. Limpieza de piezas: este proceso puede realizarse a mano o mediante robots.

7. Posible pulido: este proceso se puede realizar por un operario especializado para conseguir un acabado liso

8. Posible tratamiento: este proceso puede realizarse para mejorar la pieza o impermeabilizarla.

9. Posible pre-ensamblaje y montaje in situ: esta fase es la más compleja ya que un manejo inadecuado de las piezas puede provocar fisuras o la rotura de la pieza. Por esto es necesario hacer un estudio previo del ensamblado y montaje de las piezas. (Figura 42)



Figura 42 Ensamblaje de diversas piezas. Fuente: <http://cort.as/-MBIf>

4.2.4 Aplicaciones

Como hemos podido ver, esta tecnología permite crear formas libres de manera sencilla y permite crear elementos de un tamaño a priori ilimitado con menos trabajadores y en menos tiempo. Por todo esto las posibles aplicaciones de esta tecnología son muy extensas:

- **Interiorismo:** Se pueden crear elementos de pequeñas dimensiones como mobiliario, esculturas, falsos techos, etc. (Figuras 43 y 44)



Figura 43 y figura 44. Escultura RIGO y mesa impresa. Fuente: <http://cort.as/-MAr6>

- **Diseño urbano:** Se pueden producir desde mobiliario urbano de pequeñas dimensiones como bancos hasta grandes esculturas como la Radiolaria. (Figuras 45 y 46)

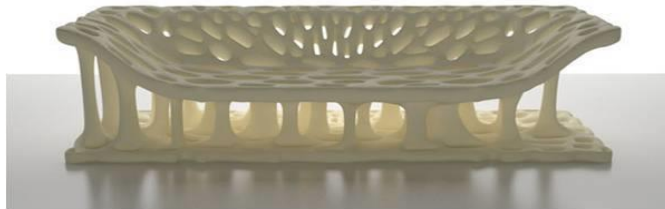


Figura 45. Banco impreso. Fuente: <http://cort.as/-MAR6>



Figura 46. Escultura "Radiolaria" Fuente: <http://cort.as/-MARz>

- **Construcción residencial:** La posibilidad de crear grandes estructuras permite la creación de viviendas de bajo impacto ambiental como la creada por Marco Cerina en Cerdeña. (Figura 47)



Figura 47. Organic Villa by Marco Cerina. Fuente: <http://cort.as/-MARz>

- **Construcción de edificios públicos e industriales:** Esta técnica permite crear grandes estructuras ensamblables. A día de hoy hay interés por parte del Monolite UK para realizar investigaciones financiadas públicamente.

4.2.5 Problemática

Aunque la tecnología está muy estudiada, a día de hoy sigue teniendo ciertos problemas relacionados principalmente en el material en sí.

-**Fragilidad:** Por la composición de la mezcla seca el producto final sea comparable a una roca que puede tener una rotura frágil sin demasiada dificultad

-**Adhesión de las capas:** También está relacionada con el producto resultante, al endurecer a una velocidad alta es posible que las capas no se adhieran completamente lo que podría llevar a una delaminación del elemento. Es por esto que hay que realizar este tipo de procesos de una forma muy exhaustiva.

-**Montaje:** Es necesario hacer un estudio previo sobre el tipo de anclaje y el proceso de manipulación de las piezas debido a que una manipulación incorrecta puede llegar a romper las piezas debido a la fragilidad y a la posible delaminación producida por una manipulación inadecuada.

4.3 Concrete printing

El concrete printing es otra tecnología actual de impresión 3D en hormigón desarrollada por el grupo inglés de investigación “Rapid Manufacturing Research Group” de la Loughborough University.

Esta tecnología consiste en una técnica similar al Contour Crafting diferenciándose de ésta en la composición del material cementicio utilizado y en la ausencia de paletas en la boquilla del extrusor. (Figuras 48 y 49)

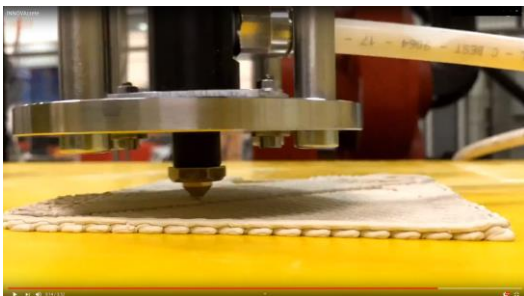


Figura 48 y figura 49. Boquilla de la impresora y acabado superficial. Fuente: <http://cort.as/-M5G4>

4.4 Aplicaciones de estas tecnologías

1. Residencial

Actualmente gran parte de la edificación impresa en 3D se ha realizado en este tipo de edificios principalmente para investigar esta tecnología, consiguiendo viviendas de un coste menor a viviendas similares construidas con técnicas actuales. (Figuras 50 y 51)



Figura 50. Vivienda de Apis Cor. Fuente: <http://cort.as/-M7ld>



Figura 51. Vivienda ICON. Fuente: <http://cort.as/-M7ld>

2. Arquitectura efímera y vivienda de emergencia

A día de hoy se pueden construir módulos habitacionales sin necesidad de una cimentación lo que puede ayudar a proporcionar ayuda humanitaria en caso de desastre en periodos de tiempo cortos. Un ejemplo de ello son los barracones creados por la Marina de EEUU.

3. Rehabilitación y reconstrucción

La existencia de escáneres 3D y de las herramientas de modelado 3D permiten que un monumento en peligro o con una alta degradación pueda ser recreado en ordenador e impreso total o parcialmente como ha ocurrido con el arco Palmyra que tras ser destruido por ISIS ha sido replicado y colocado en Nueva York.



Figura 52. Réplica impresa del arco de Palmyra. Fuente: <http://cort.as/-M7Gu>

4. Puentes

Otra línea de investigación ha sido la creación de puentes debido a la alta velocidad de las impresoras 3D actuales. Esta línea de investigación nos ha proporcionado proyectos como el puente ciclista en Holanda (Figura 53) y el puente en el parque de Castilla-La Mancha en Alcobendas concebido por el IAAC (Figura 54).



Figura 53. Puente ciclista en Holanda. Fuente: <http://cort.as/-M7Hq>



Figura 54. Puente en Alcobendas del IAAC. Fuente: <http://cort.as/-M7Hq>

4.5 Evolución

Por lo visto en los apartados anteriores, con la tecnología actual podemos imprimir partes para ensamblar un conjunto y generar cimentaciones y muros. No obstante, esto no constituye todo el edificio y a día de hoy el resto de elementos deben hacerse mediante otros procesos.

A día de hoy no es posible crear una vivienda impresa en 3D en un día y esto hace pensar en que sería necesario investigar para acercarse a la idea de vivienda impresa en un día.

-Código Técnico: De la misma forma que se creó un apartado para hormigones reforzados con fibras, también se deberían hacer estudios sobre los hormigones impresos y de su inclusión en el CTE.

-Impresión de varios materiales con la misma maquinaria: Actualmente todas las impresoras para la construcción en 3D utilizan un único material, el hormigón y similares. Pero sabemos que los edificios están contruidos con varios materiales. Por ello las impresoras del futuro deberían poder imprimir con los materiales más comunes en las obras.

-Simplificación del software: Para conseguir todo lo expuesto en este trabajo, es necesario un software específico de una gran complejidad. En las obras actuales encontramos a personal que no tiene los conocimientos para utilizar este software y que es parte importante del proceso constructivo. Es por esto que el software del futuro debe ser fácil de utilizar por estas personas.

-Maquinaria especializada y automatización de la obra: Con la tecnología actual hay procesos que deben hacerse manualmente. El proceso de impresión en 3D trae una automatización que en un futuro debería aumentarse llegando a tener robots que puedan instalar puertas y ventanas.

5. METALES(MX3D)

Actualmente la impresión 3D de metales se utiliza en muchas industrias como la automotriz y la aeroespacial debido a la posibilidad de crear piezas metálicas de una complejidad alta a un precio menor al de las piezas creadas con métodos tradicionales como el mecanizado.

En la década de los 70 se comenzó a utilizar la fusión de polvos metálicos mediante una fuente de energía. La tecnología más representativa es la llamada Direct Metal Laser Sintering o DMLS que fue patentada en 1990.

Paralelamente en la década de los 90 se desarrollaban tecnologías híbridas que compatibilizaban el mecanizado y la fabricación aditiva. Su funcionamiento es muy similar al del prototipado rápido y parte de la creación de un modelo computerizado en un archivo. STL, el cual se descompone en una serie de capas con refuerzos integrados. Estas capas se crean mediante un proceso de corte como el micro fresado o el corte por láser para ser ensamblados en la forma final.



5.1. Que es

Creación de un puente mediante la tecnología de MX3D. Fuente: <http://cort.as/-PLCw>



Figura 55. Máquinas de MX3D construyendo un puente. Fuente: <http://cort.as/-M7FC>

MX3D es una compañía que junto a Joris Laarman Lab han desarrollado una impresora automatizada capaz de imprimir piezas de metal con infinidad de geometrías que son capaces de soportar cargas de forma inmediata.

5.2 Maquinaria

La impresora consta de un brazo articulable basado en un sistema de 6 ejes que le permiten generar formas complejas de un tamaño que en teoría puede ser ilimitado.

Esta impresora tiene un funcionamiento muy similar al de una soldadora con un alimentador automático de aporte. La máquina se alimenta de un hilo que puede ser de casi cualquier metal soldable el cual se suelda entre sí para generar la forma deseada con un aporte de entre 1-3Kg de material por hora. (Figura 56)

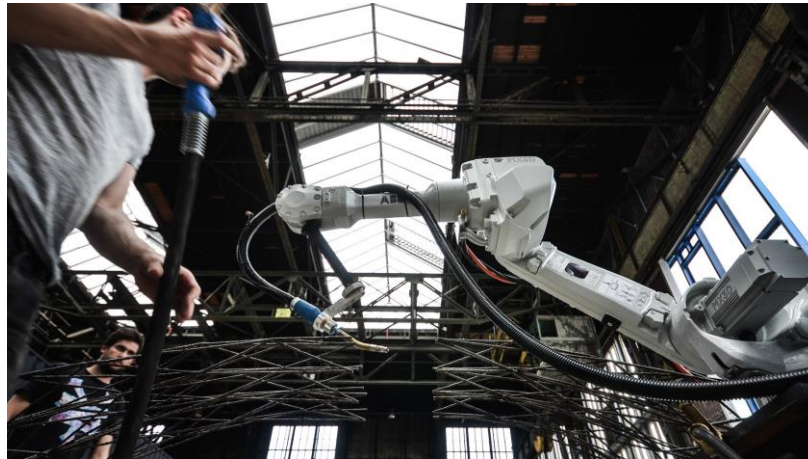


Figura 56. Máquina de impresión de MX3D. Fuente: <http://cort.as/-M7Fg>

5.3 Proceso

1. Creación del modelo 3D

Inicialmente es necesario crear un modelo computerizado en un software CAD propio que genera un modelo óptimo a nivel estructural el cual se enviará a la impresora.

2. Impresión del modelo

El modelo diseñado se envía a la máquina y tras establecer un origen de coordenadas en el terreno la impresora comienza a generar el modelo metálico.

La única cosa a tener en cuenta durante este proceso es asegurar el aporte continuo de hilo.

5.4 Posibilidades y ventajas

Actualmente este sistema es utilizado no solo para generar puentes, sino que también tiene aplicaciones en la industria pesada y en la naval, en la creación de bicicletas (Figura 57) y se está estudiando su uso para construir colonias en Marte de forma completamente autónoma.

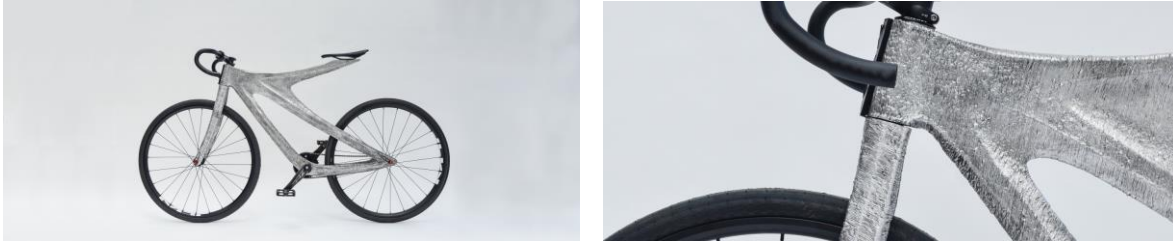


Figura 57. Bicicleta Arc Bike II. Fuente: <http://cort.as/-PMGH>

La compañía MX3D es pionera en el uso de metales para crear elementos impresos y el sistema que han desarrollado tiene diversas ventajas.

- El sistema es compatible con la mayoría de robots y soldadoras del mercado.
- Libertad formal debido al sistema de 6 ejes y de dimensión debido a la libertad de movimiento del robot. (Figura 58)



Figura 58. Impresión de un cordón metálico. Fuente: <http://cort.as/-MBZ->

- Reducción del coste de entre un 30 y un 50% del coste respecto a sistemas SLM que utilizan polvos metálicos.
- Alta velocidad de impresión pudiendo aportar hasta 3Kg de material por hora.

6. CUADRO SINÓPTICO

Construcciones con impresora 3D como herramienta de innovación en el futuro

CARACTERÍSTICAS	Contour crafting	Concrete printing	D-Shape	MX3D
PROCESO	Extrusión	Extrusión	Impresión 3D	Impresión 3D
MOLDE	Si	No	No	No
MATERIALES	Material cementicio	Material cementicio	Mezcla seca y catalizador	Hilo metálico
Nº BOQUILLAS	1	1	300	1
Ø BOQUILLA	12mm	10-20mm	4-6mm	4mm
USO DE REFUERZOS	Si	Si	No	No
GROSOR CAPA	12mm	5-25mm	5-10mm	-
TAMAÑO IMPRESIÓN	32x10x 6.6m	5.4x4.4x5.4m	7x10x5.5m	Ilimitado
VENTAJAS	Superficies lisas, colocación de instalaciones automáticamente, alta resistencia	Alta resistencia, colocación de instalaciones automáticamente	Alta resistencia, libertad formal, posibilidad de crear piezas para ensamblar un conjunto	Alta resistencia, libertad formal, puesta en uso inmediata
INCONVENIENTES	Proceso de amasado previo	Acabado superficial irregular, dimensiones de impresión pequeña	Fragilidad, lentitud del proceso, dimensión de impresión limitada, acabado superficial, eliminación del material no utilizado	Aporte de material de forma manual, imposibilidad de aplicarse en la construcción de muros, forjados y cimentaciones de edificios

7. CONCLUSIÓN

Siempre ha habido una relación entre la forma y la técnica constructiva: la forma surge a través de unos materiales y una técnica que permita su creación sin una gran complejidad. Es por esto que los movimientos arquitectónicos que han surgido han buscado formas geométricas poco complejas que tienden a prismas. Desde la arquitectura clásica en la que podemos observar los templos griegos hasta los movimientos como el Racionalismo donde las limitaciones constructivas que presentaba el hormigón llevaba a la creación de edificios como el edificio de la Bauhaus de Walter Gropius o la Villa Saboya de Le Corbusier entre muchos otros edificios.

No fue hasta después de la revolución industrial cuando se empezó a investigar nuevas posibilidades y materiales para conseguir nuevas formas que den mayor libertad al arquitecto.

En este TFG hemos descubierto las investigaciones realizadas para la adaptación de las tecnologías de fabricación aditiva a la arquitectura. Tecnologías como el Contour Crafting y MX3D muestran la evolución en los materiales y las técnicas con aplicaciones informáticas que permiten la creación de un proyecto y su implantación en una parcela.

- **En las últimas cuatro décadas ha habido una gran evolución en las técnicas de impresión 3D en la industria de la construcción.**
- **Estas técnicas se aplican satisfactoriamente en la construcción de obra nueva, rehabilitación, restauración de edificios históricos, construcción de puentes e incluso en ámbitos tan variados como la industria naval, automovilística e incluso la creación de bicicletas.**
- **En la construcción de edificios se ha conseguido imprimir muros, cimentaciones, forjados y colocar todo tipo de instalaciones embebidas en el propio edificio.**
- **La falta de automatización en la industria de la construcción condiciona a la instalación de diferentes elementos como ciertos acabados superficiales, puertas o ventanas.**

**ESTAS TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS ESTÁN REVOLUCIONANDO Y
ABRIENDOSE CAMINO EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

8.BIBLIOGRAFÍA

- 3Dnatives (2018), “Fabriantes de impresoras 3D de casas2: <http://cort.as/-M54Y> [Consultado el 18 de Marzo 2019]
- 3Dnatives (2018), “Startup 3D: Apis Cor, imprimiendo casas en 3D”: <http://cort.as/-NLkV> [Consultado el 18 de Marzo 2019]
- 3Dprint (2018): “Contour Crafting Will Develop Concrete 3D Printer for Disaster Relief, Thanks to DoD Contract”: <http://cort.as/-NLkZ> [Consultado el 18 de Marzo 2019]
- A Jakupovic (2016): “Reporte sobre D-Shape para la empresa Monolite UK”: <http://cort.as/-MBIf> [Consultado el 21 de Junio 2019]
- ACI (2018), “3-D Printing Concrete—Workability and Rheology”: <https://youtu.be/O-ep7kiUvYA> [Consultado el 18 de Marzo 2019]
- Archdaily (2015): “Construction of Sagrada Família Accelerated by 3-D Printing Technology”: <http://cort.as/-NLke> [Consultado el 18 de Junio 2019]
- B. Khoshnevis (2002): “Automated construction by Contour Crafting-Related robotics and information technologies”. “Vol 13, Issue 1, pg. 5-19” [Consultado el 27 de Diciembre 2018]
- Bitfab: “Guía de prototipado rápido ¿Qué es? Las 6 tecnologías más usadas”: <http://cort.as/-NLkh> [Consultado el 10 de Mayo 2019]
- C. Contu (Tesis), “3D-Shape y Contour Crafting. Las técnicas de automatización aplicadas a la construcción arquitectónica: El Rapid Building”. [Consultado el 27 de Diciembre 2018]
- Cement and Concrete Research (2018), “3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research”. “Vol.112, Pg. 37-49”. [Consultado el 21 de Junio 2019]
- Contour Crafting: <http://www.contourcrafting.com/> [Consultado el 10 de Mayo 2019]
- Curbed (2017): “How to print a house”: <http://cort.as/-M59J> [Consultado el 23 de Febrero 2019]
- D-Shape: <https://d-shape.com/> [Consultado el 10 de Mayo 2019]
- Dozarte (2009): “D-Shape: Construire tramite stampa 3D”: <http://cort.as/-NLkp> [Consultado el 10 de Mayo 2019]
- Innobyg: “D-Shape”: <http://cort.as/-MARz> [Consultado el 10 de Mayo 2019]
- Imperial college London (2017), “The world's first 3D printed steel bridge will be a 'living laboratory'”: <http://cort.as/-NLku> [Consultado el 18 de Junio 2019]
- J. Quirke (2018), US Marines 3D print concrete barracks in 40 hours: <http://cort.as/-M769> [Consultado el 23 de Febrero 2019]
- M. Reza, A. Mokhtari (2017), Italian Journal of Science & Engineering. “Vol.1, N°1. [Consultado el 23 de Febrero 2019]
- Ministerio de Fomento 2009, Instrucción de hormigón estructural, EHE-08. “Anejos 14, 15, 16, 17 y 18”. ISBN 978-84-498-0830-2. [Consultado el 25 de Enero 2019]
- Mizar (2016), “Fabricación aditiva vs. Impresión 3D2: <http://cort.as/-NLIA> [Consultado el 18 de Marzo 2019]
- MX3D: <https://mx3d.com> [Consultado el 23 de Febrero 2019]
- Post magazine (2016): “Story of world’s first industrial-scale 3D printer is a story of sacrifice”: <http://cort.as/-NLlB> [Consultado el 18 de Junio 2019]
- R. Torres (Tesis), “Diseño de hormigón para impresión 3D”. [Consultado el 13 de Marzo 2019]

-Sculpteo (2018), “3D printed bridge: The most impressive structures!”: <http://cort.as/-NLID> [Consultado el 23 de Febrero 2019]


-Sculpteo (2018), “3D printing for construction: What is Contour Crafting?”: <http://cort.as/-NLIJ> [Consultado el 23 de Febrero 2019]

-T. Marchment (2019), Materials & Design. “Vol. 169, Article 107684”: <http://cort.as/-NLIM> [Consultado el 20 de Abril 2019]

-The register (2008): “Concrete-jet 'printers' to build houses, Moonbases in hours”: <http://cort.as/-NLIQ> [Consultado el 20 de Abril 2019]

-WinSun: <http://www.winsun3d.com/en> [Consultado el 23 de Febrero 2019]

Notas

A lo largo del trabajo aparecen códigos QR  Para poder visualizarlos se pueden utilizar apps como *Lector QR* (apple) o *QR Code reader* (Android).