



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## Investigación sobre la impresión 3D en la edificación

Autor

Francisco Javier Bravo Peiro

Director

Jose Ángel Pérez Benedicto

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2017





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

Investigación sobre la impresión 3D en  
la edificación

422.13.170

Autor: Francisco Javier Bravo Peiro

Director: Jose Ángel Pérez Benedicto

Fecha: 6 de noviembre



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
1.1. PALABRAS CLAVE	1
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>2</b>
2.1. KEY WORDS	2
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>4. HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D</b>	<b>4</b>
<b>5. TIPOS DE IMPRESIÓN 3D</b>	<b>7</b>
5.1. CHORRO DE AGLUTINANTE	7
5.1.1. 3DP	7
5.2. DEPOSICIÓN DE ENERGÍA DIRIGIDA	7
5.2.1. DED	7
5.2.2. EBF <sup>3</sup>	8
5.3. EXTRUSIÓN DE MATERIAL	8
5.3.1. FDM o FFF	8
5.3.2. CC	8
5.3.3. Robocast o DIW	8
5.4. CHORRO DE MATERIAL	9
5.5. CAMA DE POLVO	9
5.5.1. EMB	9
5.5.2. SLM	9
5.5.3. SLS	10
5.5.4. SHS	10
5.6. LAMINADO POR CAPAS	10
5.6.1. LOM	10
5.7. POLIMERIZADO POR LUZ	10
5.7.1. SLA y DLP	11
5.7.2. CLIP	11
<b>6. PROYECTOS</b>	<b>12</b>
6.1. UNA CASA DE UN PEDAZO	12
6.2. LA LUNA Y MARTE	13

INDICES

6.3.	AM ANTI GRAVEDAD	13
6.4.	DIGITAL GROTESQUE	15
6.5.	ROBOTS IMPRESORES	16
6.6.	3D PRINT CANAL HOUSE	18
6.7.	10 CASAS EN 24 HORAS	20
6.8.	UN CASTILLO EN EL JARDÍN	21
6.9.	LOUGHBOROUGH UNIVERSITY	23
6.10.	WASP	25
6.11.	3DCONS	26
6.12.	PRIMERA VILLA Y EL EDIFICIO MÁS ALTO IMPRESO	27
6.13.	PUENTE METÁLICO EN ÁMSTERDAM	31
6.14.	EMIRATOS ÁRABES	33
6.15.	CASA MODULAR EN MENOS DE 3 HORAS	34
6.16.	SPECAVIA	35
6.17.	EL PRIMER HOTEL IMPRESO EN 3D	37
6.18.	PYLOS	39
6.19.	CHINESE COURTYARD, EL PATIO DEL REY	41
6.20.	VILLA DE 400M <sup>2</sup> IMPRESA IN SITU	43
6.21.	DEPOSITANDO LADRILLOS	45
6.22.	CABINA URBANA EN ÁMSTERDAM	46
6.23.	BAÑOS PÚBLICOS DE SUZHOU	47
6.24.	XTREEE	49
6.25.	TU EIDHOVEN	50
6.26.	CAPEADO VARIABLE	51
6.27.	KAI PARTHY – REFUERZO ESTRUCTURAL	52
6.28.	PUENTES IMPRESOS EN 3D	53
6.29.	CYBE RC 3DP	56
6.30.	APIS COR	58
6.31.	#NEWPALMIRA	59
6.32.	YHNOVA	60
6.33.	MATERIAL RECICLADO	61
6.34.	LADRILLOS IMPRESOS	62
6.35.	FACHADA ADAPTATIVA	63
<b>7.</b>	<b>CONCEPTOS BÁSICOS</b>	<b>64</b>
7.1.	TIPOS DE IMPRESORAS	64
7.1.1.	<i>Cartesianas</i>	65
7.1.1.1.	De movimiento XY	65

7.1.1.2.	Core XY	65
7.1.1.3.	De movimiento XZ	66
7.1.1.4.	De movimiento XYZ	66
7.1.2.	<i>Deltas</i>	67
7.1.3.	<i>Polares</i>	67
7.1.4.	<i>Brazos robóticos</i>	68
7.1.5.	<i>Depositado de Bloques</i>	68
7.2.	ALIMENTADO	69
7.3.	BOQUILLAS, TIPOS Y DIÁMETROS	70
7.4.	LA PRIMERA CAPA	71
7.5.	ALTURA DE CAPA	71
7.6.	VOLADIZOS Y SOPORTES	72
7.7.	RELLENO	73
7.8.	ACABADOS	74
7.9.	CAMBIOS DE PUNTA	75
7.10.	MULTITRAZOS	76
<b>8.</b>	<b>EL MÉTODO</b>	<b>77</b>
8.1.	DISEÑO	77
8.2.	MATERIALES	78
8.3.	LIMITACIONES	79
8.4.	PUESTA EN OBRA	80
8.5.	ESTRUCTURA Y RESISTENCIA	80
8.6.	ACABADOS	81
8.7.	EJEMPLOS	81
8.7.1.	<i>Proyecto Fusion 360</i>	82
8.7.2.	<i>Proyecto Revit</i>	84
8.7.3.	<i>Laminado</i>	88
8.7.4.	<i>Post-procesado</i>	90
<b>9.</b>	<b>TESTES</b>	<b>91</b>
9.1.	PRIMERA CAPA	91
9.2.	DISTANCIAS RECORRIDAS	92
9.3.	PICOS	93
9.4.	VOLADIZOS	93
9.5.	CONSISTENCIA	94
9.6.	DETALLES (FINO)	95
9.7.	VIBRACIONES	95

## INDICES

9.8.	RESISTENCIA	96
9.9.	ACABADOS (OOZE)	97
<b>10.</b>	<b>PROBLEMAS Y SOLUCIONES</b>	<b>98</b>
10.1.	ESCASEZ EN LA PRIMERA CAPA	98
10.2.	APLASTAMIENTO	99
10.3.	CAMBIO DE COLORACIÓN	100
10.4.	DEMASIADA EXTRUSIÓN O ESCASA EXTRUSIÓN	100
10.5.	EXTRUSIONADO NO UNIFORME	101
10.6.	FALTA DE ADHERENCIA	101
10.7.	HUECOS	102
10.8.	LEVANTAMIENTO DE ESQUINAS	102
10.9.	PEGOTES	103
10.10.	VIBRACIONES	103
10.11.	GIRO DEL FILAMENTO	103
10.12.	CREMALLERA	104
10.13.	DESLIZAMIENTO DE UNA CAPA	105
10.14.	PARO DURANTE EXTRUSIÓN	105
<b>11.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>106</b>
11.1.	LOS AGENTES DE LA REVOLUCIÓN	106
11.1.1.	<i>RepRap</i>	106
11.1.2.	<i>Behrokh Khoshnevis</i>	107
11.1.3.	<i>3DCons</i>	109
11.1.4.	<i>Loughborough University</i>	110
11.1.5.	<i>WASP</i>	111
11.1.6.	<i>WinSun y el mercado chino</i>	112
11.1.7.	<i>IAAC</i>	113
11.1.8.	<i>Andrey Rudenko</i>	113
11.1.9.	<i>Tecnología BIM</i>	114
11.2.	APLICACIONES	115
11.2.1.	<i>Restauración, rehabilitación y detalles ornamentales</i>	115
11.2.2.	<i>Prefabricados</i>	115
11.2.3.	<i>Fabricación In Situ</i>	116
11.3.	PROS Y CONTRAS	116
11.3.1.	<i>Pros</i>	116
11.3.2.	<i>Contras</i>	116
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>118</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Una casa tutta di un pezzo .....	12
Ilustración 2 - Desarrollo vertical .....	14
Ilustración 3 - Desarrollo horizontal .....	15
Ilustración 4 - Laminado y endurecimiento de la arena .....	16
Ilustración 5 - Proceso de soplado .....	16
Ilustración 6 - Minibuilder zoom.....	17
Ilustración 7 - Minibuilder .....	17
Ilustración 8 - Minibuilder escalando en la figura .....	18
Ilustración 9 - Kamer Maker, impresora portátil.....	18
Ilustración 10 - Impresión de piezas .....	19
Ilustración 11 - Maqueta.....	19
Ilustración 12 Casas.....	20
Ilustración 13 - Esquinas .....	20
Ilustración 14 - Secciones.....	21
Ilustración 15 - Castillo frontal .....	21
Ilustración 16 - Detalle torre .....	22
Ilustración 17 - Castillo parte de atrás.....	22
Ilustración 18 - Construcción en el exterior .....	23
Ilustración 19 - Armado interior.....	23
Ilustración 20 - V0 (Izda.) V1 (Dcha) .....	24
Ilustración 21 - Detalle Instalaciones y estructura.....	24
Ilustración 22 - Maker Economy Starter Kit.....	25
Ilustración 23 - Prueba práctica .....	25

INDICES

Ilustración 24 - Impresión de anillo en paramento vertical .....	26
Ilustración 25 - Logotipo impreso verticalmente .....	27
Ilustración 26 -Edificio estilo mansión .....	28
Ilustración 27 - Villa de dos edificios .....	28
Ilustración 28 - Muro hueco para armar.....	29
Ilustración 29 - Ejemplo muro autoresistente .....	29
Ilustración 30 - Estándar de construcción para edificios de más de 100 metros de altura.....	30
Ilustración 31 - Estándar de construcción para edificios de menos de 100 metros de altura .....	30
Ilustración 32 - Brazo Robótico.....	31
Ilustración 33 - Simulación de proceso .....	31
Ilustración 34 - Prototipo funcional .....	32
Ilustración 35 - Modelo final.....	32
Ilustración 36 - Proyecto de Dubai .....	33
Ilustración 37 - Casa Modular.....	34
Ilustración 38 - Prueba en el exterior .....	35
Ilustración 39 - Prueba de armado entre capas.....	35
Ilustración 40 - Banco con interior reciclado .....	35
Ilustración 41 - Fachada .....	36
Ilustración 42 - Proceso.....	36
Ilustración 43 - Maquina impresora .....	37
Ilustración 45 - Saneamiento .....	37
Ilustración 44 - Bañera.....	38
Ilustración 46 - Entrada casi terminada .....	39
Ilustración 47 - Detalle arcilla.....	40
Ilustración 48 - Presentación Construmat con máquina y proyectos .....	40
Ilustración 49 - Fachada .....	41
Ilustración 50 - Detalle con jardineras.....	42

Ilustración 51 - Patio interior.....	42
Ilustración 52 - Inclusión de ventanas .....	43
Ilustración 53 - Detalle Boquillas .....	44
Ilustración 54 - Impresión sobre armadura .....	44
Ilustración 55 - Fachada .....	44
Ilustración 56 - Máquina que coloca el ladrillo aplicándole motero .....	45
Ilustración 57 - Maquina que sólo deposita ladrillo .....	45
Ilustración 58 - Detalle de acabado plástico .....	46
Ilustración 59 - Modulo de plástico.....	46
Ilustración 60 - Vista general baños .....	47
Ilustración 61 - Saneamiento inferior prefabricado .....	47
Ilustración 62 - Colocación de piezas.....	48
Ilustración 63 - Transporte de los prefabricados .....	48
Ilustración 64 - Primer pilar estructural en Europa .....	49
Ilustración 65 - Máquina .....	50
Ilustración 66 - Curvas .....	50
Ilustración 67 - Detalle .....	50
Ilustración 68 - Variación de alturas.....	51
Ilustración 69 - Curva .....	51
Ilustración 70 - Hierros.....	52
Ilustración 71 - Modo de ejecución.....	52
Ilustración 72 - Ejemplo .....	52
Ilustración 73 - Puesta en obra.....	53
Ilustración 74 - Foto final.....	53
Ilustración 75 - Detalle .....	54
Ilustración 76 - Perspectiva .....	54
Ilustración 77 - Puente en los Países Bajos .....	55
Ilustración 78 - Puente en Japón .....	55

INDICES

Ilustración 79 - Escala .....	56
Ilustración 80 - Elevacion CyBe .....	57
Ilustración 81 - Máquina .....	58
Ilustración 82 - Terminada.....	58
Ilustración 83 - Tetrapylon.....	59
Ilustración 84 - Detalle capitel.....	59
Ilustración 85 - Escala .....	59
Ilustración 86 - Emplazamiento rodeado de árboles .....	60
Ilustración 87 - Impresion de espuma .....	60
Ilustración 88 - Geopolímero 1 .....	61
Ilustración 89 - Geopolímero 2 .....	61
Ilustración 90 - Pilar de ladrillo.....	62
Ilustración 91 - Detalle ladrillos .....	62
Ilustración 92 - Diferencia de ladrillos .....	62
Ilustración 93 - Spong3D.....	63
Ilustración 94 - Modelos .....	88
Ilustración 95 - Perfil de la máquina.....	89
Ilustración 96 - Cura Ejemplo.....	90

## INDICE DE TIPO DE IMPRESORA

Tipo de Impresora 1 - Darwin.....	65
Tipo de Impresora 2 - Core XY .....	65
Tipo de Impresora 3 - Mendel .....	66
Tipo de Impresora 4 - V0 (izda.) V1 (dcha.).....	66
Tipo de Impresora 5 - Delta WASP.....	67
Tipo de Impresora 6 - Polar 3D .....	67
Tipo de Impresora 7 - CyBe RC 3Dp.....	68

Tipo de Impresora 8 - SAM 100 .....	69
-------------------------------------	----

## INDICE DE FUSION

Fusion 1 - Modelo completo .....	82
Fusion 2 - Planta Baja .....	83
Fusion 3 - Planta 1.....	83
Fusion 4 - Detalle .....	84

## INDICE DE REVIT

Revit 1 - General .....	85
Revit 2 - Multinivel.....	86
Revit 3 - STL General .....	86
Revit 4 - STL Categoría .....	87
Revit 5 - Cajas de sección.....	87

## INDICE DE DIBUJO

Dibujo 1 - Leyenda .....	64
Dibujo 2 - Concepto de Impresora .....	64
Dibujo 3 - Alimentado .....	70
Dibujo 4 - Diámetro de Boquilla.....	70
Dibujo 5 - Forma de Boquilla.....	70
Dibujo 6 - Primera capa.....	71
Dibujo 7 - Altura de capa .....	71
Dibujo 8 - Voladizos y soportes .....	73
Dibujo 9 - Relleno.....	74
Dibujo 10 - Acabado .....	75



Dibujo 11 - Cambio de punta .....	75
Dibujo 12 - Multitrazo .....	76

## INDICE DE TEST

Test 1 - Primera Capa .....	92
Test 2 - Picos .....	93
Test 3 - Voladizos .....	94
Test 4 - Torre de temperaturas .....	95
Test 5 - Detalles .....	95
Test 6 - Vibraciones .....	96
Test 7 - Resistencia interna .....	96
Test 8 - Resistencia .....	96
Test 9 -Goteo .....	97

# 1. RESUMEN

La impresión 3D está revolucionando el mercado en múltiples sectores como la robótica, los juguetes, las prótesis, o el arte, pero aquel sector en el que está teniendo grandes avances y es el que mayormente nos interesa, es el sector de la construcción, nuestro protagonista.

En este trabajo se expondrán las diferentes técnicas de impresión en 3D utilizadas en el ámbito de la construcción existentes hasta el momento y tras ello, se analizarán los avances y casos más relevantes de los últimos años.

Una vez expuesta la teoría y los proyectos creados hasta la fecha, se profundizará en que o quiénes son los agentes que están representando esta revolución y qué papel tiene cada uno, observando en algunos ejemplos, sus diferencias y sistemáticas, pros y contras de esta tecnología, límites hallados en este tipo de construcción y posibles soluciones que se han adoptado para cada uno de los mismos.

La creación de un *modus operandi*, para las técnicas más comunes, los problemas, las soluciones, y los testes que podremos llevar a cabo para evitar fallos, serán las motivaciones principales de este trabajo.

Por último, en las conclusiones, se valorará su introducción al sector, así como su viabilidad, su utilidad, y su posible afectación en el mismo.

## 1.1. PALABRAS CLAVE

Impresión 3D, Manufacturación Aditiva, Construcción, Problemas, Soluciones, Aplicación.

## 2. ABSTRACT

The 3D Printing is revolutionizing the market in multiple sectors as the robotics, the toys, the prosthesis, or the art, but the one which is having great advances and the focus of our attention, is the sector of the construction.

In this work, we are going to be exposing the different 3D printing techniques used in the construction existent nowadays and afterwards, the advances and more relevant cases of the last years will be analyzed.

Once exposed the theory and the projects created up to the date, it has been deepened in what or who are the agents that are representing this revolution and which is their individual role, observing in some examples, with their differences and working systems, pros and cons of this technology, limits found in this kind of construction and possible solutions that have been adopted.

The creation of a *modus operandi*, for the most common techniques, the problems, the solutions, and the tests that could be done to avoid the failures, will be the main motivation of the work.

Finally, in the conclusions, will be evaluated the introduction in the sector, as well as his viability, utility and possible affectation in the working area.

### 2.1. KEY WORDS

3D Printing, Additive Manufacturing, Construction, Problems, Solutions, Applications.

### 3. INTRODUCCIÓN

La primera vez que vi un documental sobre impresión 3D en 2010 me fascinó, una impresora como la que teníamos en casa, pero de la cual crearían juguetes, motivos decorativos y hasta órganos.

Una tecnología con tantas posibilidades y todavía sin explorar. Hasta que en 2014 volví a escuchar sobre el tema, pero esta vez relacionado con la edificación. Con la noticia de que en 24 horas se habían construido 10 casas a un coste ridículo, y me pregunté si se podía aplicar en el sistema actual y que mejoras ofrecería.

Mis pretensiones principales en esta investigación eran, primero encontrar toda aquella tecnología aplicada al mundo de la construcción y saber cómo estaba de avanzado el tema de la impresión 3D. Una vez conocidas quería conocer las perspectivas de futuro que daba, la viabilidad, si de verdad podía funcionar, si sus soluciones eran mejores, como el precio, el uso de materiales o si había alguna ventaja a la hora de trabajar con este sistema.

Me di cuenta de que por ahora solo hay algún proyecto y prototipo, pero los verdaderamente interesantes como 3DCons, las colonias lunares o la industrialización del mercado solo acababan de empezar y no existe un método de trabajo implantado de manera oficial en ninguna parte del planeta.

Por esto quise analizar sus posibles aplicaciones, los pros y los contras, los problemas que surgen, las posibles soluciones y cómo afectaría al sector de la construcción, el tiempo requerido en la obra, las nuevas técnicas, la seguridad de los trabajadores, la repercusión en el medio ambiente y el cambio en los valores de mercado que podemos obtener por una vivienda, convirtiéndola de la inversión de tu vida a una simple compra más como puede ser la selección de un coche.

El trabajo se estructura primero dando a conocer la historia de la impresión 3D y las diferentes variables que han surgido con los años. Una vez tratados los proyectos se tratan los conceptos básicos en la "Fabricación aditiva". Se desarrolla un método de trabajo, y se plantean pruebas de material para detectar los fallos que se pueden encontrar y las soluciones que se deberían de tomar.

Tras ello hago unas observaciones sobre los agentes más influyentes y las aplicaciones principales, barajando al tras esto los pros y los contras.

Todo ello resulta en unas conclusiones sobre la tecnología y su aplicación en el día a día.

## 4. HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D

La historia de la impresión 3D ha tenido un crecimiento exponencial. Todo comenzó con un escaneo e impresión de un modelo 3D con la foto-escultura, en 1860, seguido con las ideas de utilizar fotopolímeros y la creación de varios sistemas de impresión y modelado en 3D. A continuación, se observa una línea temporal de los avances más importantes que dieron como resultado el mundo en el que hoy vivimos:

- 1860: El método de foto-escultura de François Willème captura un objeto en tres dimensiones, usando cámaras y un haz de luz alrededor de objetos y personas. Después, esas curvas serán esculpidas en orden para crear el modelo copiado. («Fotoescultura | Pensar en Fotografía», s. f.)
- 1892: Joseph E. Blather propone un método de producción de mapas topográficos por un método de capeado. («Chp. 3: Technology», s. f.)
- 1972: Matsubara de Mitsubishi Motors propone que los materiales foto-endurecidos (fotopolímeros) sean usados para crear figuras con sus partes laminadas.
- 1981: Hideo Kodama del Instituto de Investigación Industrial Municipal de Nagoya inventó dos métodos de AM (Fabricación Aditiva, Additive Manufacturing por su nombre en inglés) de unos modelos tridimensionales con unos plásticos que endurecían al ser expuestos a Luz Ultravioleta (fotopolímeros).
- El 16 de julio de 1984: Alain Le Méhauté, Olivier de Witte y Jean Claude André patentaron el proceso de estereolitografía. Tres semanas antes que Chuck Hull patentara el suyo. La aplicación fue abandonada por "falta de perspectiva de negocio" por parte de la Compañía Eléctrica General Francesa (Alcatel-Alsthom) y CILAS (El consorcio del láser).
- 1984: Chuck Hull más adelante desarrolló un prototipo basado en el proceso denominado estereolitográfico, donde creaba modelos tridimensionales cortando el modelo en secciones transversales. Que fue patentado en 1987.
- 1991: Stratasys produce la primera máquina de FDM (Fused Deposition Modeling, o modelado por deposición fundida) que extrude plástico sobre una cama en sucesivas capas.
- 1992: 3D Systems produce la primera máquina de SLA (Stereolithography, o estereolitografía).

- 1992: DTM desarrolla el SLS (Selective Laser Sintering, o sinterización láser selectiva). Similar a la estereolitografía, pero usando polvo y láseres en vez de un líquido.
- 1994: Model Maker's presenta su impresora con cera.
- 1997: Aeromet inventa la manufacturación aditiva láser
- 1999: Científicos del Instituto de Medicina Regenerativa Wake Forest consiguen hacer crecer órganos con células de pacientes usando una estructura impresa en 3d, haciendo de soporte para que las células crecieran alrededor de ella.
- En la década de los 2000: El término AM (additive manufacturing) se amplió y empezaron a surgir distintos procesos para el mismo fin.
- 2000: Thomas Boland modifica los cartuchos de tinta para imprimir células bobinas.
- 2000: Object Geometries crea la primera impresora 3D Inkjet.
- 2000: Z Corp crea la primera impresora 3d multicolor.
- 2001: Solidimension crea la primera impresora 3D de escritorio.
- 2002: Un grupo de científicos chinos crean el primer riñón impreso en 3D. Llevando a la investigación del instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa al objetivo de imprimir órganos y tejidos.
- 2005: El proyecto RepRap es fundado por el Dr Adrian Bowyer en la Universidad de Bath. La iniciativa de código abierto para construir una impresora 3D que pueda imprimir la mayoría de sus propios componentes.

Este es un punto importantísimo, dado que a partir de aquí el crecimiento es exponencial al permitir que una gran cantidad de gente pueda crear y modificar el código, generando mejoras sustanciales y haciendo avances significativos. Todo esto con la intención de que todo el mundo pudiera tener una impresora 3D de bajo coste.

- 2008: Darwin, la primera impresora RepRap que puede producir gran cantidad de sus partes es creada.
- 2008: Stratasys produce el primer material para FDM biocompatible.
- 2008: Teuber usa la primera pierna prostética impresa en 3D.
- 2008: Shapeways aparece, como web de comercio para modelos 3D
- 2008: Makerbot, la empresa de impresoras 3D, crea Thingiverse, una web para subir modelos 3D a internet de manera gratuita.
- En 2009 – La patente de FDM (deposición de material fundido "fused deposition modeling") expiró.

Esto marcó un antes y un después en el avance de esta tecnología. Esto, junto a los portales web donde encontrar archivos en formato STL (un archivo CAD que define



geometría de objetos 3D para ser impresos), es lo que realmente ha revolucionado el mercado, haciendo que, con una impresora en casa, los usuarios pudieran acceder a una infinidad de modelos online y libres de derechos, pudiendo ser modificados o usados como plantillas. Con esta revolución, la comunidad creció rápidamente con proyectos cada vez más complicados, desde juguetes hasta prótesis para manos y brazos.

- 2009: Makerbot comienza a crear kits para construir RepRaps y llegar a una mayor audiencia.
- 2009: El primer vaso sanguíneo es impreso en 3D por Organovo.
- De 2010 en adelante: La tecnología de impresión 3D ha avanzado exponencialmente gracias a la colaboración de estas comunidades que comparten sus proyectos con licencias libre de uso. En 30 años esta tecnología ha avanzado junto al uso de la informática de una manera radical, tanto que ya se han aprobado proyectos para colonias en marte y la creación de cero de partes cartilaginosas del cuerpo humano. No sabemos dónde está el límite, en su forma, esto es una revolución industrial en sí misma.

(«History of 3D Printing», 2014) («3D\_Printing\_Infographic\_FINAL.pdf», s. f.)

## 5. TIPOS DE IMPRESIÓN 3D

Al igual que en la impresión 2D encontramos la impresión por tinta, estampado o láser, en la impresión 3D han ido surgiendo distintos tipos de creación de piezas, que se ajustan al tipo de material y a la forma de disponer la materia prima.

La impresión 3D se conoce más comúnmente como la "Manufacturación Aditiva", que consiste en crear objetos tridimensionales por la deposición sucesiva de material en capas. La Manufacturación Substractiva en cambio, parte de un bloque de material, y lo transforma en una pieza tridimensional cortando material o perforándolo.

Desde 2010, la Sociedad Americana para Testeo y Materiales (American Society for Testing and Materials (ASTM)), desarrolló unos estándares para clasificar los procesos de Manufacturación Aditiva en 7 procesos distintos. Aquí mostraremos un poco de que van cada uno y las variantes más comunes. Aunque definitivamente en la construcción no los usemos todos, conviene conocerlos, ya que cada vez se van obteniendo más aplicaciones a cada uno de los procesos.

Un detalle a destacar es que cuando hablemos de un tipo de impresión, lo haremos también con sus siglas en inglés por su universalidad. (Gibson, Rosen, & Stucker, 2014) («AdditiveManufacturingTerminology.pdf», s. f.)

### 5.1. CHORRO DE AGLUTINANTE

Se dispone una lámina de polvo de material, al que le inyectan material aglutinante líquido de manera controlada en puntos.

#### 5.1.1. 3DP

Cama de polvo y cabeza con chorro (powder bed and inkjet head 3D Printing) que sirve para casi cualquier aleación metálica, polímeros en polvo y plásticos. Consiste en depositar una cama de polvo y posteriormente la cabeza imprime un conglomerante y tras ello se sucede otra capa de polvo y conglomerante, creando finalmente un bloque de polvo con una figura en su interior, ya solidificada.

### 5.2. DEPOSICIÓN DE ENERGÍA DIRIGIDA

#### 5.2.1. DED

El nombre más usado para este sistema es Deposición de Energía Dirigida (Directed Energy Deposition) y sirve para casi cualquier aleación y metal. Un polvo metálico es alimentado a una boquilla que lo vaporiza y la energía dirigida en forma de láser funde el material en el lugar deseado.

### 5.2.2. *EBF<sup>3</sup>*

Otro sistema de alimentado por polvo es la Fabricación Libre por Haz de Electrones, comúnmente apodado (EBF<sup>3</sup>) por su nombre en inglés, *Electron Beam Freeform Fabrication (EBFFF)* sirve para casi cualquier aleación metálica. En este caso, se utiliza un haz de electrones para fundir el material que se expulsa directamente en la boquilla, y que se solidifica directamente después.

## 5.3. EXTRUSIÓN DE MATERIAL

Consiste en la extrusión de material líquido o fluido, depositado en capas para conformar una pieza tridimensional.

### 5.3.1. *FDM o FFF*

Existen dos términos para el mismo proceso, el *Fused Deposition Modeling (FDM)* o el *Fused Filament Fabrication (FFF)* que engloban para la impresión de termoplásticos, gomas, arcilla, plastilina, elementos comestibles y los cementos. La única diferencia es que FDM es un proceso patentado por Stratasys y FFF por los miembros del movimiento RepRap. Este será el proceso principal de bombeo para el material y la deposición del mismo en la mayoría de casos.

### 5.3.2. *CC*

Más adelante veremos que para la construcción se ha creado un sistema con nombre propio, el *Contour Crafting*. Un sistema patentado por Behrokh Khoshnevis para la manufacturación aditiva con pasta de cemento, además de toda una gran variedad de boquillas, acabados, sistemas de corte y extrusión de la pasta. («Contour Crafting», s. f.)

### 5.3.3. *Robocast o DIW*

En esta categoría encontramos el robocasteo o Escritura de Tinta Directa (*Direct Ink Writing*) donde podremos utilizar aleaciones metálicas, materiales cerámicos y compuestos.

El robocasteo trata de la utilización de un robot con una extrusión libre y en el DIW encontraríamos a los modelos de impresora, en los que la boquilla tiene directamente, en la parte superior, un tubo con la pasta a extrudir. Estos sistemas son muy comunes en la impresión de comida, pero también se ha utilizado el DIW para cerámicos, dado que, al no estar la pasta en contacto con el aire, se puede almacenar y reservar. La desventaja principal de este último, es que la cantidad de material que puedes extrudir te la limita el tubo que puedas poner encima.

## 5.4. CHORRO DE MATERIAL

Consiste en aplicar el material en gotitas por dos boquillas, una para el material de soporte y otra para el material en el que queremos el modelo. Inmediatamente después de que las gotas de material caigan, una luz ultravioleta que va justo después de las boquillas, lo solidifican. Una vez hecha una capa, la base baja, y se continua con la superior.

## 5.5. CAMA DE POLVO

El proceso de cama de polvo se basa en la distribución de una ligera cama de polvo del material, el cual se calienta para formar un sólido. Una vez terminada la impresión, se sopla o succiona el polvo para descubrir la pieza resultante. Aquí es donde encontramos más variantes:

### 5.5.1. EMB

Fundido por haz de Electrones: (Electron-Beam Melting) se puede utilizar para casi todas aleaciones metálicas incluyendo las de titanio. El concepto de este método es similar a 3DP, pero en vez de agregar un conglomerante, en este caso funden el material con un haz de electrones.

### 5.5.2. SLM

Fundido por láser selectivo: (Selective Laser Melting) sirve principalmente para aleaciones de titanio, aleaciones de cobalto cromo, aluminio y acero inoxidable. Muy

similar a el EMB, pero con el utilizo de un láser lo que otorga mayor precisión a la pieza y suavidad a las capas superficiales.

### 5.5.3. SLS

Sinterizado Selectivo por Láser: (Selective Laser Sintering) se usa en termoplásticos, polvos metálicos y polvos cerámicos. Similar a SLM, pero a menor temperatura.

La diferencia principal entre el fundido y el sinterizado es la temperatura (que se traduce en potencia en el caso de láseres). Las diferencias suelen ser el tacto suave de una fundida y con forma mate y arenosa en el sinterizado y la resistencia mayor en el fundido dado que el material está unido totalmente.

### 5.5.4. SHS

Sinterizado por Calor Selectivo: (Selective Heat Sintering) que sirve para fundir termoplásticos. Funciona como una SLS, pero en este caso, no utiliza un rayo para fundir los materiales, sino que los sinteriza por calor.

## 5.6. LAMINADO POR CAPAS

El laminado por capas es una técnica poco usual, por la cual se van cortando formas en un plástico o lámina por capas y unir las todas en un solo objeto con calor o pegamentos.

### 5.6.1. LOM

Nos encontramos con la Manufacturación de Objetos Laminados (*Laminated Object Manufacturing*), para papel, láminas de metal y plástico film. Consiste en un rollo de material que es cortado y depositado en láminas, las cuales, entre lámina y lamina, se calientan y cortan. Al final nos encontramos con un bloque de material sólido y precortado, al cual hay que extraerle el sobrante para obtener la pieza final.

## 5.7. POLIMERIZADO POR LUZ

El polimerizado por luz consiste en solidificar resinas en polímeros con haces de luz. El haz de luz solidifica una capa, esta se aleja para solidificar la siguiente e ir formando la estructura final.

### 5.7.1. SLA y DLP

El único material utilizado en este sistema son los fotopolímeros. Se puede utilizar la Estereolitografía (*Stereolithography (SLA)*) y el Procesado Digital por Luz (*Digital Light Processing (DLP)*). Los dos son usados para fotopolímeros. En nuestro caso conviene saber que existen, pero no se le ha encontrado aplicación en la construcción aún. La única diferencia es que en SLA se utiliza una resina que se endurece con luz ultravioleta, y el DLP utiliza polímeros fotosensibles, pero se pueden endurecer con luces tradicionales.

### 5.7.2. CLIP

Recientemente Joseph DeSimone, CEO de Carbon3D, mostraba un proceso de SLA que era de 25 a 100 veces más rápido que el convencional, la Interfaz de Producción Continua Líquida (*Continuous Liquid Interface Production*). Hasta ahora, en el proceso común, se vertía un tanque de fotopolímero líquido en la impresora, en la cual una placa hacía de base para que se solidificaran las piezas en él. Se solidificaba una capa y se elevaba la base para poder realizar la siguiente, y sucesivamente capa a capa se formaba una figura. Pero con el nuevo método, se solidifican las capas gradualmente, dando como resultado un objeto sin capeado y con una velocidad que hace que las piezas se terminen en minutos en vez de horas. («Joe DeSimone: ¿Y si las impresoras 3D fueran 100 veces más rápidas? | TED Talk | TED.com», s. f.)

## 6.PROYECTOS

Sabemos algo de historia, de cómo empezó todo y como ha ido variando y evolucionando con el tiempo, pero aún no sabemos hasta dónde podremos llegar.

A continuación, se expongo algunos de los proyectos que me han parecido más relevantes por ofrecer innovación, avance, soluciones, o simplemente aportar algo que otros no habían hecho hasta el momento.

El primer estudio e investigación práctica fue en la universidad USC Viterbi, en agosto de 2008, por Behrokh Khoshnevis. Caterpillar Inc. fue uno de los que invirtieron en lo que luego sería conocido como "Contour Crafting".

### 6.1. UNA CASA DE UN PEDAZO

En 2010 – Marco Ferreri, creo una casa de una sola pieza con la tecnología D-Shape, que toma el concepto de 3DP. Que trata de superponer capas de arena y solidificar la parte requerida en esa altura con una resina y calor capa tras capa, una vez finalizado soplar el sobrante y limpiar restos. Se hizo con intenciones meramente artísticas, pero ya se contemplaba la idea de la realización de prototipos de piezas en la construcción y este es un precedente importante. («unacasadittadiunpezzo3\_low.pdf», s. f.)



*Ilustración 1 - Una casa tutta di un pezzo*

## 6.2. LA LUNA Y MARTE

En 2012 – Behrokh Khoshnevis, propone a la NASA la creación de colonias espaciales en la Luna y Marte, construidas por maquinas con la tecnología del Contour Crafting.

En 2013 - Se plantearon como debía de ser una colonia espacial y que requisitos cumplir, en un texto en colaboración entre la NASA, ESA y Foster + Partners. Dando detalles de que está compuesto el suelo, y recursos básicos que necesitaría una persona para vivir en la luna.

En 2014 – Ganan el primer premio con la tecnología de construcción computarizada llamada Contour Crafting. En un concurso de diseño en el que participaron más de mil competidores y organizado por la *NASA Tech Briefs Group* "Create the Future".

En 2015 – Foster and Partners también propone su sistema de impresión de una base en 3D para otra competición en la NASA. Tanto como para la luna como para marte.

En 2016 – El sistema SSS de AM, recibió el gran premio en la competición internacional "In-Situ Challenge" patrocinada por la NASA.

En 2018 – Se las impresoras de Contour Crafting, estarán disponibles para ser enviadas.

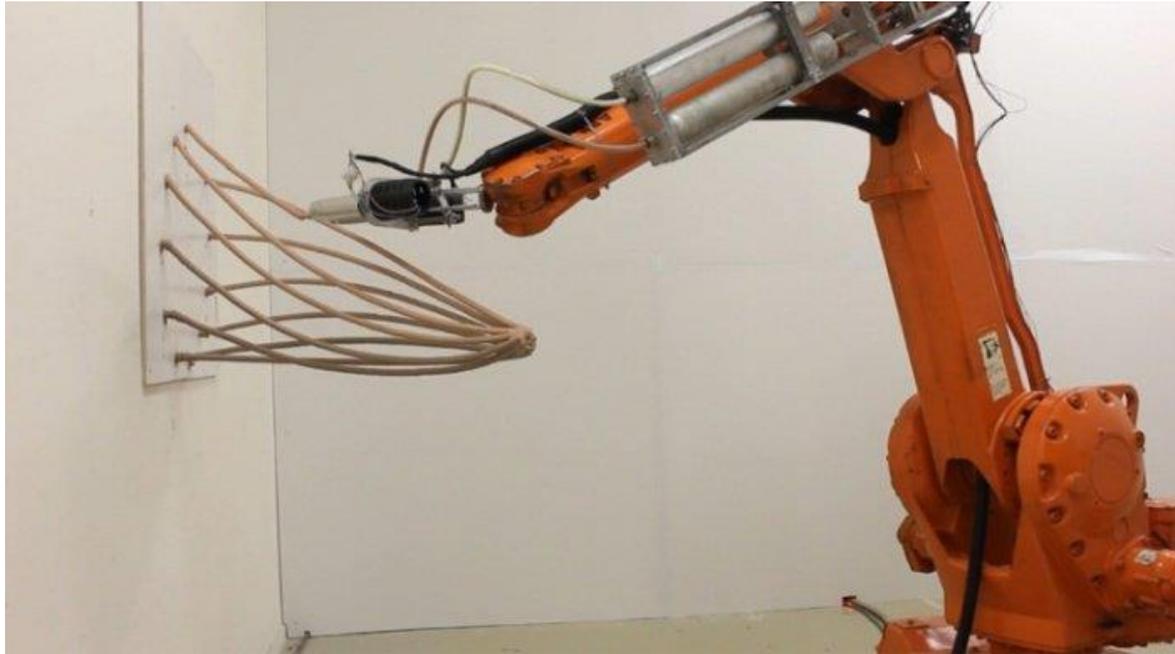
En 2030 – La agencia espacial europea, tiene la intención de crear una colonia en la Luna, lanzando unos módulos inflables que posteriormente se recubrirían con material en gran parte extraído del propio satélite para proteger las estancias de radiación y (s. f.)

## 6.3. AM ANTI GRAVEDAD

En diciembre de 2012 - Petr Novikov y Saša Jokić, del IAAC (Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña) y el Estudio Joris Laarman como proyecto presentaron una nueva forma de construir objetos, moldeándolos al aire conforme se extrudían. Dando la capacidad de crear formas libres en el sitio.(«Mataerial», s. f.)



*Ilustración 2 - Desarrollo vertical*



*Ilustración 3 - Desarrollo horizontal*

## 6.4. DIGITAL GROTESQUE

En junio de 2013 – Benjamin Dillenburger y Michael Hansmeyer, desvelaron un prototipo de habitación a escala 1:3 en dos exhibiciones de arte, una en Tokio y la otra en Suiza.

Con una resolución de hasta 0.14mm y más de 260 millones de superficies, la compleja pieza les tomó un mes de diseñar, pero tras eso solo un día en montarlo.

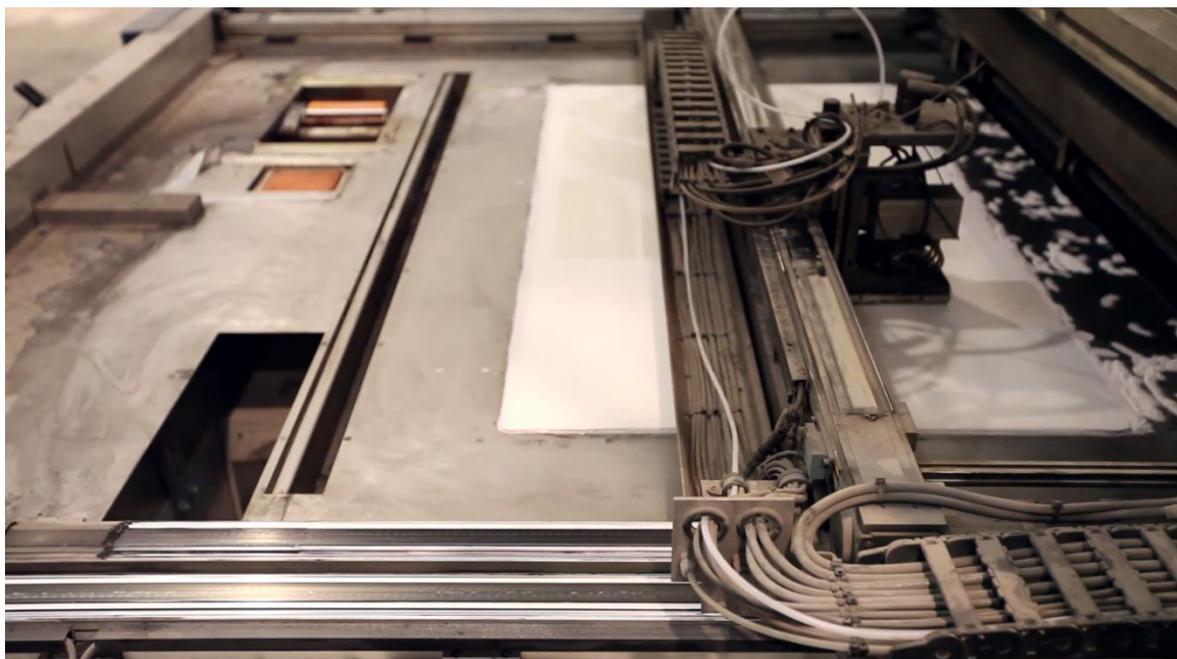
Demostrando la finura a la que se puede llegar en diseños puramente estéticos que para la restauración pueden ser interesantes.

La técnica de Cama de polvo viene a ser la más útil cuando se tienen pequeños voladizos en todas partes usando el mismo polvo como material de soporte. («Digital Grotesque . Printing Architecture», s. f.)





*Ilustración 5 - Proceso de soplado*



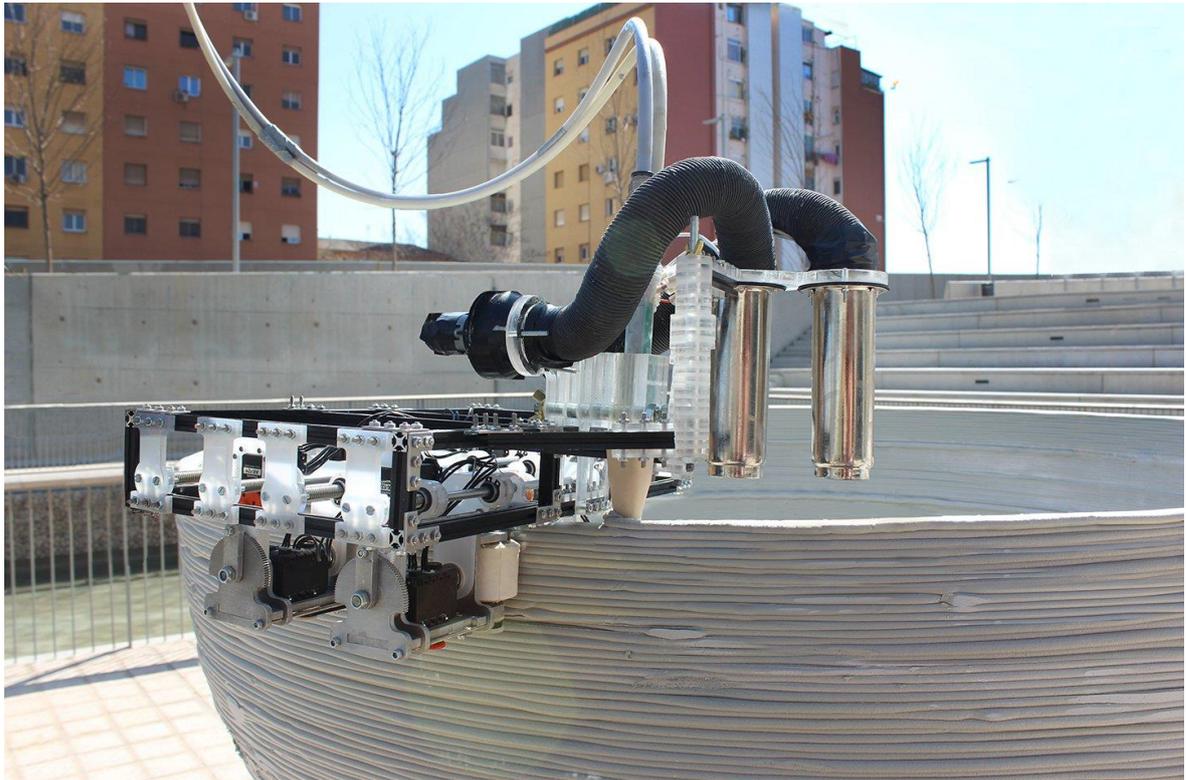
*Ilustración 4 - Laminado y endurecimiento de la arena*

## 6.5. ROBOTS IMPRESORES

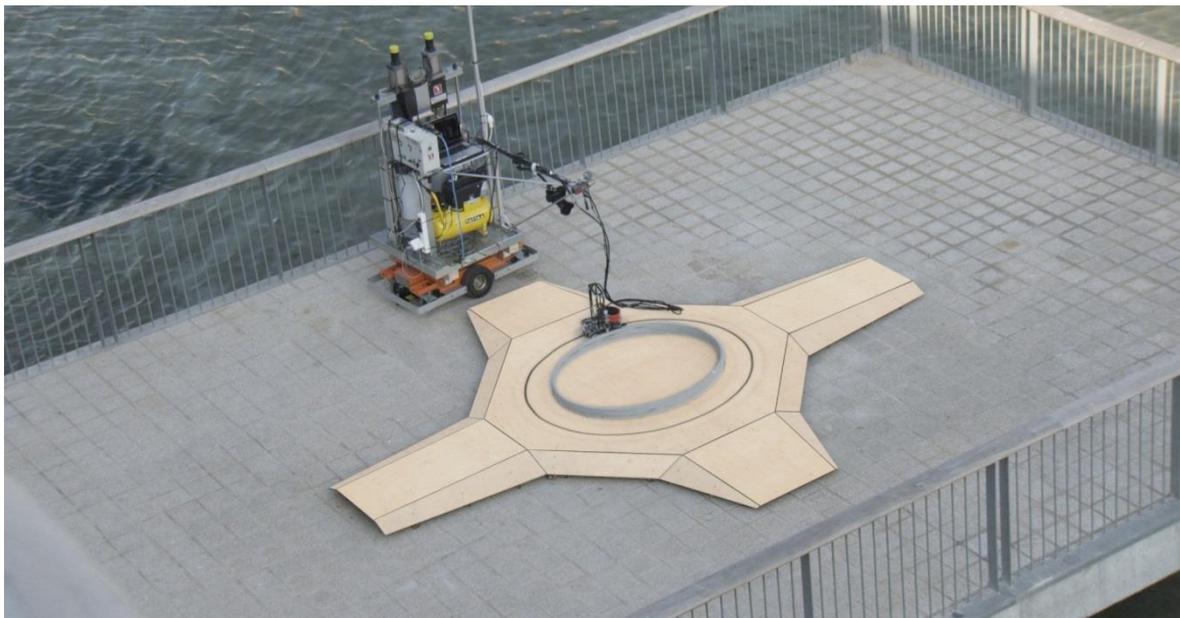
En 2013 – En el IAAC, los investigadores Shihui Jin, Stuart Maggs, Dori Sadan y Cristina Nan, presentaron la tesis sobre los Minibuilders.

Uniendo el mundo de la robótica y la arquitectura, crearon unos robots que no solo imprimían, sino que utilizaban lo que iban imprimiendo la base para soportarse, pudiendo escalarla y adaptarse.

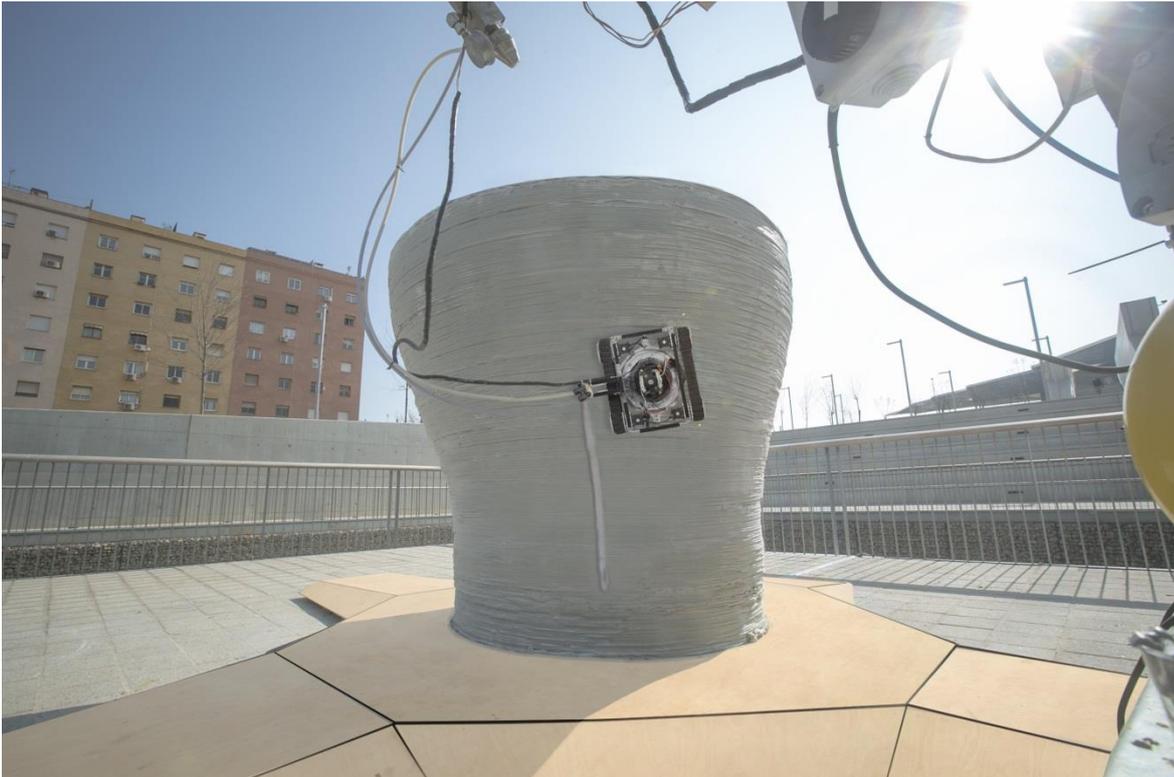
Con unas boquillas que se adaptan a la posición de los robots, estos imprimen y escalan, solo necesitando un cable que le ofrezca corriente y otro que le aporte el material. («Minibuilders», s. f.)



*Ilustración 6 - Minibuilder zoom*



*Ilustración 7 - Minibuilder*



*Ilustración 8 - Minibuilder escalando en la figura*

## 6.6. 3D PRINT CANAL HOUSE

En marzo de 2013 – DUS Architects, un estudio alemán, anunció que quería construir una casa en Ámsterdam pegada al canal.

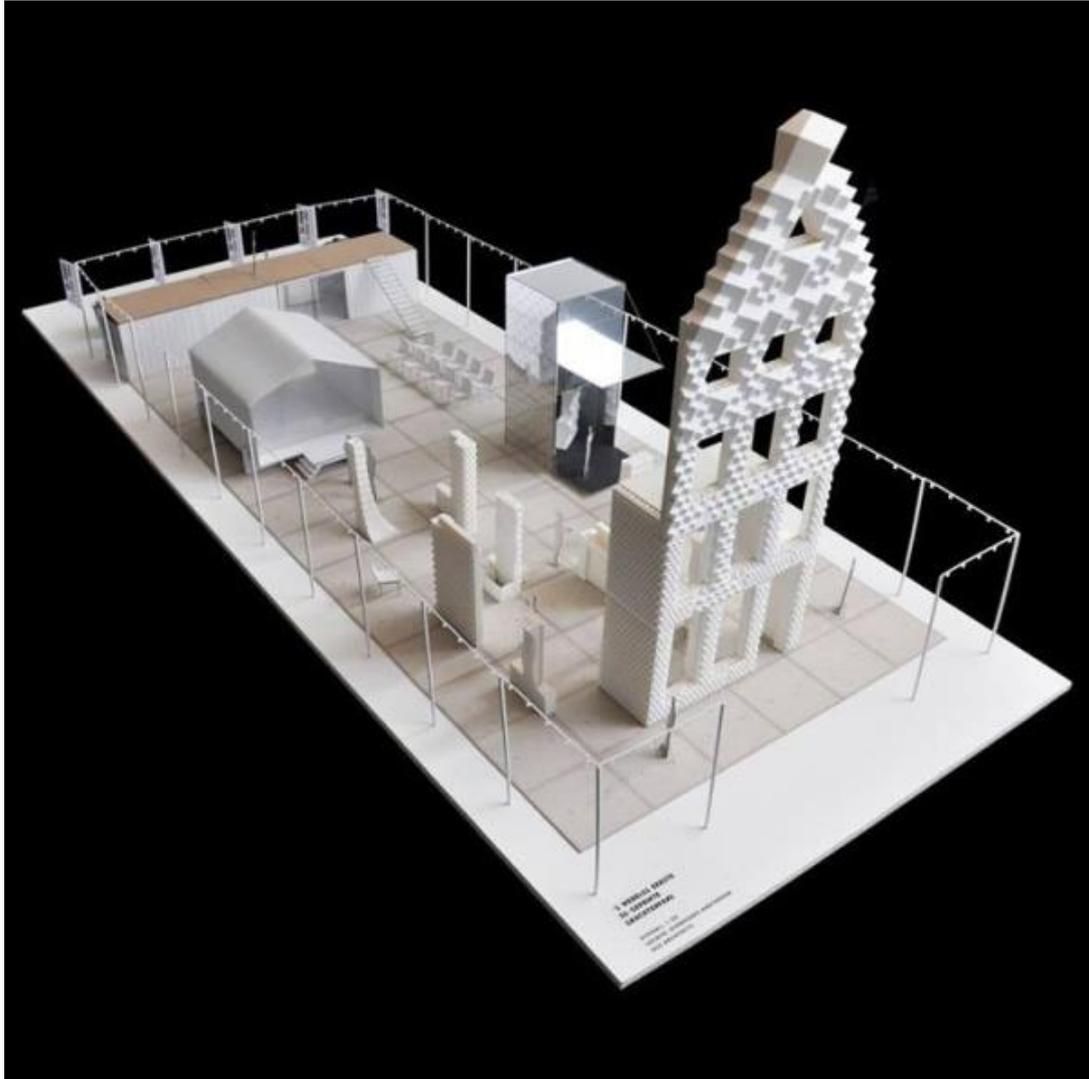
Con una impresora de 2x2x3.5 m., la primera a gran escala transportable, se propusieron el imprimir una casa por piezas, en plástico, a escala 1:1 que ensamblarían a los ojos de todo el mundo ya que la “obra” está abierta al público.

Como dijo el representante de la Fundación Doen “No sabemos exactamente cómo terminará el proyecto, pero vamos aprendiendo a medida que vamos haciendo y compartiéndolo”.

(«3DPRINTCANALHOUSE by DUS Architects», s. f.)



*Ilustración 9 - Kamer Maker, impresora portátil*



*Ilustración 11 - Maqueta*



*Ilustración 10 - Impresión de piezas*

## 6.7. 10 CASAS EN 24 HORAS

El 29 de marzo de 2014 - WinSun, una empresa china, creó con una impresora 3D, de 150x10x6 m., con los que produjo unas secciones con cemento que tenía parte de desechos de la construcción reciclados, desechos industriales y fibra de vidrio.

Ensamblaron las secciones creando 10 casas, en el tiempo de 24 horas y con un coste menor a 5.000 \$USD («10 completely 3D printed houses appears in Shanghai, built under a day», s. f.)



*Ilustración 13 - Esquinas*



*Ilustración 12 Casas*



*Ilustración 14 - Secciones*

## 6.8. UN CASTILLO EN EL JARDÍN

En agosto 2014 – Andrey Rudenko, en Minnesota. Habiendo trabajado anteriormente en sectores relacionados con arquitectura e ingeniería, decidió modificar una impresora 3D para ampliar sus dimensiones y elaborar sus propios patrones.

Sin ningún tipo de financiación construyó un castillo en su propio jardín trasero, en los que sus curvas y cambios estructurales le ofrecían retos a la hora de levantarlo.

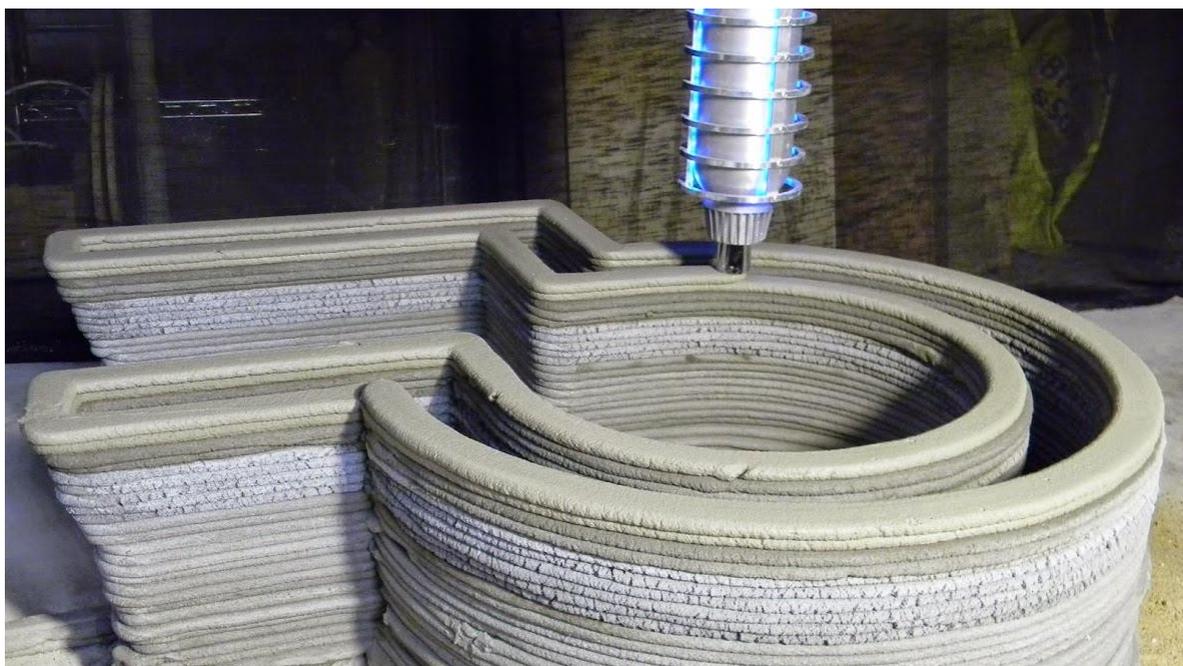
Primero hizo una parte en un mismo bloque, esperando a que seicara cada una de las partes, aunque después hizo las partes altas aisladas que luego debería de montar. («Rudenko 3D Printer», s. f.)



*Ilustración 15 - Castillo frontal*



*Ilustración 17 - Castillo parte de atrás*



*Ilustración 16 - Detalle torre*



*Ilustración 19 - Armado interior*



*Ilustración 18 - Construcción en el exterior*

## 6.9. LOUGHBOROUGH UNIVERSITY

En noviembre de 2014 - La universidad de Loughborough, Reino Unido, firmó un acuerdo de colaboración con Skanska y Fosters and Partners para desarrollar el uso de la impresión 3D en la construcción. Desde entonces hicieron pruebas y han creado dos máquinas para la impresión 3D, una tradicional y otra con un brazo robótico.

La universidad cuenta con un grupo de investigadores que crearon la primera maqueta de muro con las instalaciones implementadas en él. Junto con colaboraciones con otras empresas la universidad avanza hacia el futuro de la impresión para implementarla en el sector. («5\_Foster\_-\_Partners\_RD\_Paper\_Design\_Potential\_Lge\_scale\_fabrication\_FINAL.pdf», s. f.)



*Ilustración 20 - V0 (Izda.) V1 (Dcha)*



*Ilustración 21 - Detalle Instalaciones y estructura*

## 6.10. WASP

Desde 2015 en adelante – WASP, una agencia italiana, que proyecta, produce y efectúa la venta de impresoras 3D se une a la edificación con sus máquinas pensadas para construir con arcilla.



Ilustración 22 - *Maker Economy Starter Kit*

Con la premisa de que sea económico y un buen aislante, utilizan la arcilla como material a extrudir. Esta agencia, además de ofrecer una gran cantidad de soporte didáctico gratis y online, promueve el que cada uno se haga su propia casa, desde los muebles hasta el diseño de la misma.

En la *Rome Maker Faire 2016*, (podríamos decir que es un equivalente al Construmat de Barcelona) presentaron el proyecto *Maker Economy Starter Kit*, donde proponen que además de construirse su propia casa, muebles o sistema energético, habla de poder escoger un diseño desde internet y realizarlo a partir de ese modelo.

La premisa es crear un modelo de construcción económico, que no afecte al medio ambiente, personalizable y con la base de compartir conocimientos comunitariamente. («Stampanti 3D | WASP», s. f.)



Ilustración 23 - *Prueba práctica*

## 6.11. 3DCONS

En enero de 2015 - El Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) financian con más de 8 millones de euros el proyecto '3DCONS. Nuevos procesos de construcción mediante impresión 3D'.

Las empresas participantes son:

- Vias y Construcciones (coordinación)
- Saint Gobain Placo Iberica (producción de yeso)
- Lafarge (fabricación de mortero y hormigón)
- Poringesa (ingeniería de automatización de procesos)
- CYPE (cálculos de cargas estructurales)
- Geocisa (rehabilitación de patrimonio)
- Atanga (BIM)

Colaboran también:

- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)
- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad de Burgos
- Centro Tecnológico CARTIF
- Fundación CIM

(«3DCons | Nuevas tecnologías de impresión 3D», s. f.)



*Ilustración 24 - Impresión de anillo en paramento vertical*



*Ilustración 25 - Logotipo impreso verticalmente*

## 6.12. PRIMERA VILLA Y EL EDIFICIO MÁS ALTO IMPRESO

En enero de 2015 – WinSun vuelve a demostrar la capacidad de las impresoras 3D, creando un edificio de apartamentos de 5 plantas, y una villa de 1.100 metros cuadrados con decoraciones incluidas.

Con el mismo método de construir piezas que luego son ensambladas en obra construyeron toda la estructura y muros del mismo, esta vez añadiendo armadura metálica en el proceso. También se incluyó esta vez el aislamiento previendo un hueco donde colocarlo. («Exclusive», s. f.)



*Ilustración 27 - Villa de dos edificios*



*Ilustración 26 -Edificio estilo mansión*



*Ilustración 29 - Ejemplo muro autoresistente*



*Ilustración 28 - Muro hueco para armar*

Los muros pueden ser impresos con una estructura interna que les confiera firmeza o como una estructura que sirve como encofrado para el hormigón y la armadura interna.

Además, WinSun creó sus propios conceptos de construcción para edificios más altos sobrepasando los 100 metros.

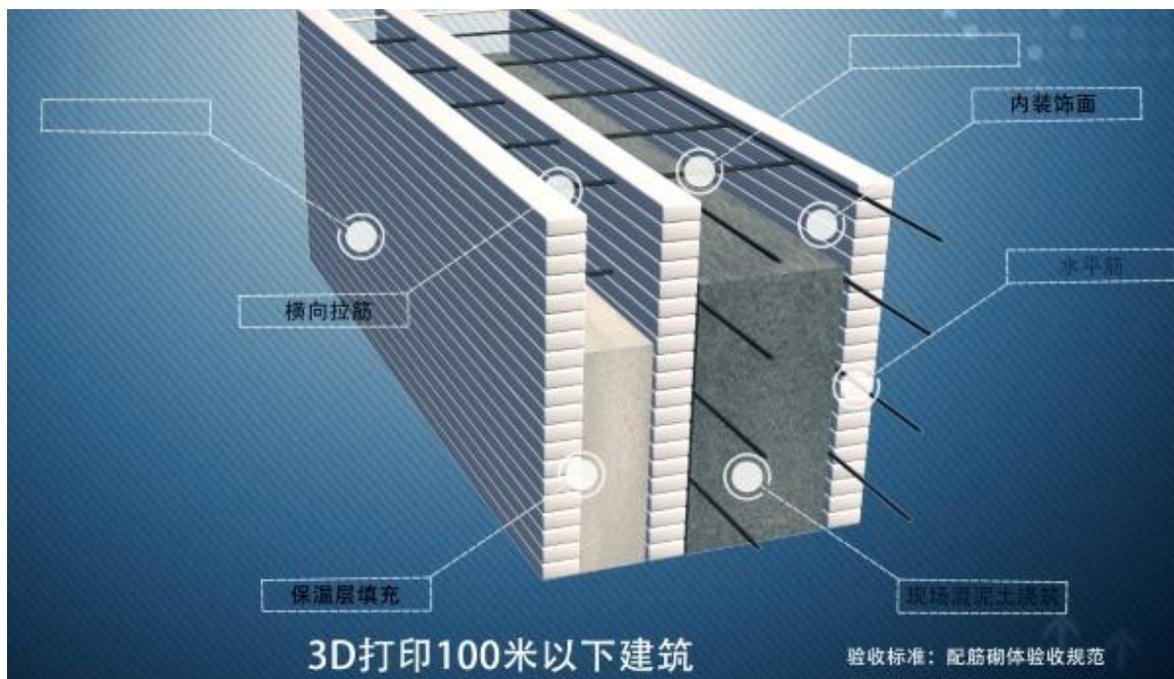


Ilustración 31 - Estándar de construcción para edificios de menos de 100 metros de altura

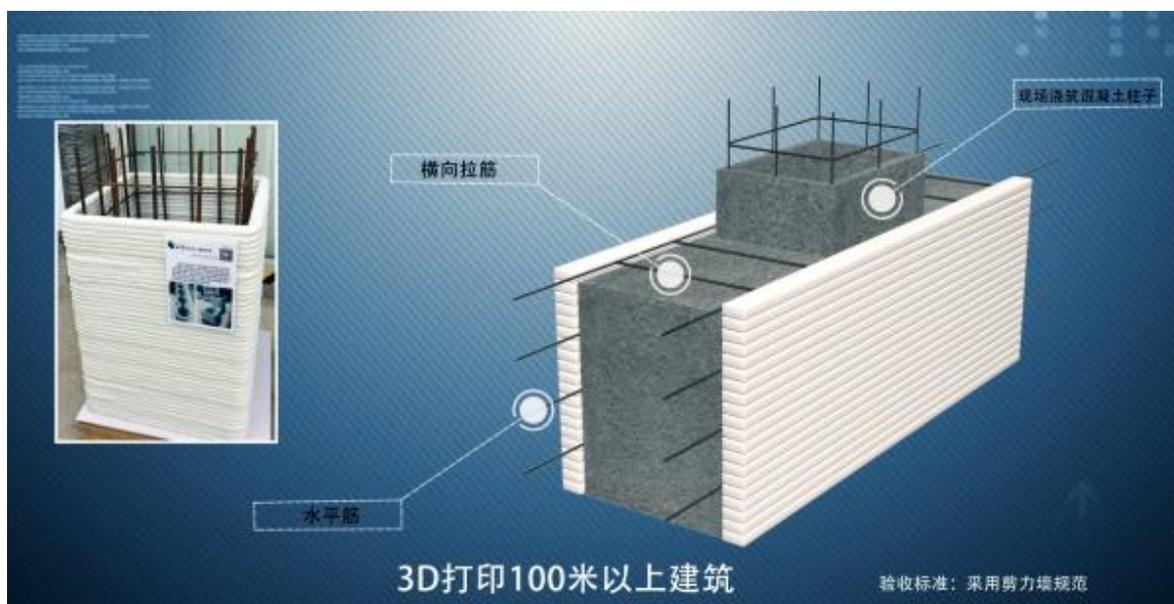


Ilustración 30 - Estándar de construcción para edificios de más de 100 metros de altura

## 6.13. PUENTE METÁLICO EN ÁMSTERDAM

En junio de 2015 – MX3D, un startup de R&D, quiere construir un puente imprimiéndolo sobre el mismo canal en 2017. («MX3D Bridge», s. f.)



*Ilustración 33 - Simulación de proceso*



*Ilustración 32 - Brazo Robótico*



*Ilustración 34 - Prototipo funcional*

La idea es que unos robots fundan y suelden el metal, y al mismo tiempo avanzar sobre él para seguir construyendo.

Éste proyecto lleva una tercera parte impresa, y esperan terminarlo para junio de 2018.



*Ilustración 35 - Modelo final*

## 6.14. EMIRATOS ÁRABES

En julio de 2015 – Dubai, junto con la ayuda de WinSun, piensa en construir un edificio de 610 metros cuadrados, funcional, que sea solo construido con tecnología de impresión 3D. También gozan de la creación de unas oficinas dedicadas a la investigación sobre impresión 3D hechas por WinSun.

En agosto de 2016 – En Arabia Saudí planean crear 1.5 millones de casas con la tecnología china de WinSun en los próximos 5 años.

Los Emiratos, quieren convertirse en el centro global de tecnología, diseño y arquitectura, y mostrarlo al mundo en el Museo del Futuro. («Dubai opens world's first 3D printed "Office of the Future", completed in just 17 days», s. f.)



*Ilustración 36 - Proyecto de Dubai*

## 6.15. CASA MODULAR EN MENOS DE 3 HORAS

En julio de 2015 – ZhuoDa Group, una empresa china, presentó en la *International Exhibition Center Plaza* en la ciudad de Weihai, una casa hecha por dos módulos en tres horas.

Los módulos se realizaban en la factoría y de ahí se enviaban al sitio donde se iban a implantar.

Como An Yongliang, un ingeniero de la empresa explicaba a Xinhuan:

“La villa tradicional puede llevar al menos seis meses para construirla, pero nuestro modelo 3d de villa toma solo 10 días desde que empieza la producción en la factoría hasta el ensamblaje en el sitio específico”

“La casa construida con nuestro nuevo material, incluyendo mobiliario, cocina, utensilios y otros equipamientos, cuesta 562\$USD por metro cuadrado” («Chinese



*Ilustración 37 - Casa Modular*  
company ZhuoDa unveils two-story “3D Module Villas” being built in less than three hours», s. f.)

## 6.16. SPECAVIA

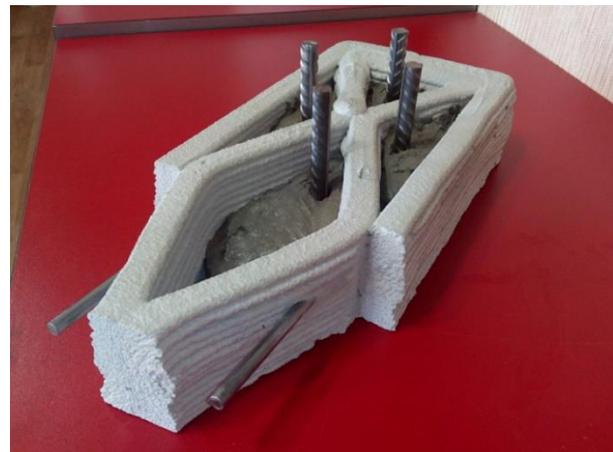
En agosto de 2015 – La presentación en la Expo de Impresión 3D de Moscú de la firma Specavia, una presentación que no tuvo tanta repercusión mediática, pero de la misma importancia a los avances hasta ahora vistos.

El equipo ruso ha creado varios modelos de impresoras creadas específicamente para imprimir edificios.

Sorprendentemente, el nivel de avance es muy similar al del Contour Crafting, o la tecnología británica, incorporando las instalaciones, y la estructura en el planeamiento del modelo del muro para otorgarle resistencia a la estructura y protección a las instalaciones. («Specavia», s. f.)



*Ilustración 38 - Prueba en el exterior*



*Ilustración 39 - Prueba de armado entre capas*



*Ilustración 40 - Banco con interior reciclado*

Tras la buena acogida de estos proyectos, decidieron presentar en octubre de 2017 lo que ellos denominan la primera casa habitable impresa en 3D. En Yaroslavl, de unos 300 metros cuadrados, también se confiere a sí misma como el edificio más grande impreso en Europa. («AMT-SPECAVIA builds Europe's first habitable 3D printed building», s. f.)



*Ilustración 41 - Fachada*



*Ilustración 42 - Proceso*

## 6.17. EL PRIMER HOTEL IMPRESO EN 3D

En septiembre de 2015 – El Lewis Grand Hotel, en Angeles City Pampanga, Filipinas, es el primer hotel impreso con la tecnología 3D.

Un emprendedor, Lewis Yakich, graduado en ciencias materiales en la universidad de California, Santa Bárbara, tras trabajar como ingeniero en Intel, cambio de rumbo y se fue a Filipinas.

Su proyecto era crear el primer hotel con esta tecnología de impresión, y con ayuda de Andrey Rudenko (el hombre que construyó un castillo en su jardín) consiguieron hacerlo.

Crearon otra impresora allí, e investigaron por los materiales locales, donde afortunadamente tenían arena volcánica que, aunque fuera más difícil de manipular, les otorgaba un resultado muy resistente y buena adherencia entre capas.

Como Rudenko explicó en una entrevista para 3Ders:

“Si, nos tomó varios meses preparar todo, pero ahora, somos capaces de imprimir una casa de tamaño medio, en una semana, usando arena barata local e incluyendo fontanería y cableado eléctrico”

El éxito inicial de Rudenko y Yakich, ha hecho que Yakich se plantee seguir con una serie de proyectos de impresión 3D, en particular en el ámbito de casas e industria de la construcción. («3D-Printed Hotel», s. f.)



*Ilustración 43 - Máquina impresora*



*Ilustración 45 - Bañera*



*Ilustración 46 - Entrada casi terminada*

## 6.18. PYLOS

En septiembre de 2015 - Sofoklis Giannakopoulos, del IACC, quiso crear un material biodegradable, y económico además del proceso de impresión.

Lo que consiguió fue desarrollar la impresora, y un material que ofreciera:

- Aislante natural
- Protección al fuego
- Permeabilidad al aire
- Bajo coste
- 100% reciclable
- Resistente
- De bajo efecto invernadero
- Que regulara el clima interior

Desarrollo un material 96% basado en tierra, pero era 3 veces más resistente a tracción que la arcilla dura industrial. Además de conseguir un precio tan bajo como 50 céntimos de euro el kilo. («Pylos», s. f.)



*Ilustración 48 - Presentación Construmat con máquina y proyectos*



*Ilustración 47 - Detalle arcilla*

## 6.19. CHINESE COURTYARD, EL PATIO DEL REY

En marzo de 2016 – WinSun, la empresa china demuestra la gran cantidad de avance en su modelo constructivo y crean dos jardines clásicos chinos como los catalogados como patrimonio de la UNESCO.

Una zona de 80 metros cuadrados y otra de 130, y a diferencia de los anteriores proyectos mostrados anteriormente, en los que dejaba solo la estructura construida, o simplemente las cubrían con paneles, a unos jardines cuidadosamente diseñados.

Con la inspiración en los jardines, pero denotando el cómo se habían hecho, dejaron muchos muros vistos, o lo que es aún más, les dieron mayor uso previendo huecos para poner jardineras.

Diferenciándose de los espacios diáfanos o edificios huecos anteriores, en este caso se emplearon principios de acústica, ópticos y necesidades físicas integrándolas en el diseño. («WinSun 3D prints two gorgeous concrete Chinese courtyards inspired by the ancient Suzhou gardens», s. f.)



*Ilustración 49 - Fachada*



*Ilustración 51 - Patio interior*



*Ilustración 50 - Detalle con jardineras*



*Ilustración 52 - Inclusión de ventanas*

## 6.20. VILLA DE 400M<sup>2</sup> IMPRESA IN SITU

En junio de 2016 – En Beijing, HuaShang Tengda Industry and Trade, ha surgido como competidor chino a WinSun.

La compañía, ha creado una villa de 400m<sup>2</sup> en 45 días. La particularidad principal es que, a diferencia de ser impreso, y montado en el lugar, estos lo han impreso directamente en el sitio.

Los mismos creadores dicen que en los test sísmicos, se ha estimado que puede aguantar hasta un Nivel 8 en la escala de Richter, lo que normalmente destruiría otros muchos edificios.

Un detalle a tener en cuenta es que no cambiaron la fórmula del cemento ni añadieron aditivos, ya que su idea es que se pueda utilizar el cemento producido localmente sea donde sea y así evitar costes.

La compañía comentaba que además es de uso más simple, más rápido, más eficiente y menos costoso que el método tradicional.

(«Exquisite 400 m2 villa 3D printed on-site in Beijing in just 45 days», s. f.)



*Ilustración 55 - Fachada*



*Ilustración 54 - Impresión sobre armadura*



*Ilustración 53 - Detalle Boquillas*

## 6.21. DEPOSITANDO LADRILLOS

En julio de 2016 – (Fastbrick Robotics, ha demostrado el Hadrian 105, un robot capaz de poner ladrillos de una manera predefinida, llegando a 225 ladrillos a la hora, que comparados con un humano, le cuesta media jornada laborar poner la misma cantidad.

También hay otras que conforme colocan el ladrillo, agregan la pasta de mortero, así el muro estaría completo y no sería mera exhibición. («FastBrick», s. f.)



*Ilustración 57 - Máquina que sólo deposita ladrillo*



*Ilustración 56 - Máquina que coloca el ladrillo aplicándole mortero*

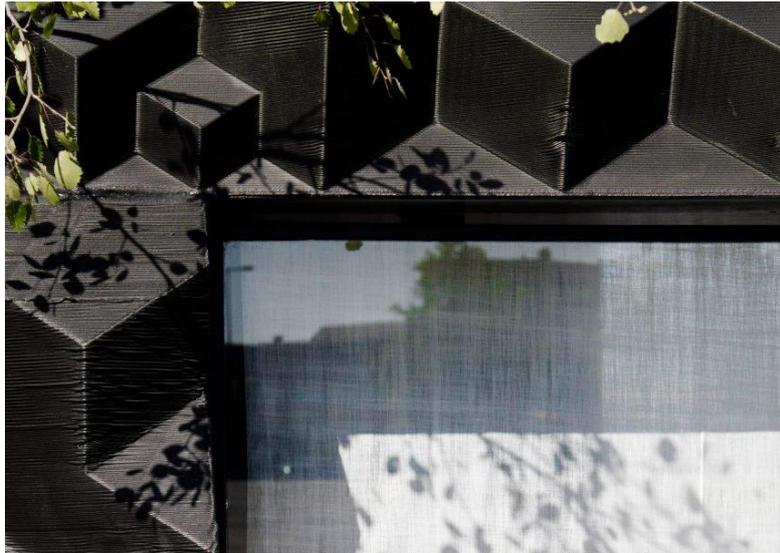
## 6.22. CABINA URBANA EN ÁMSTERDAM

Agosto de 2016 – DUS Architects, la misma firma de arquitectos alemanes de la casa impresa en el canal, ha creado una cabina de 8 metros cuadrados en Ámsterdam.

Querían demostrar su capacidad de hacer refugios en caso de desastre, o soluciones temporales para quien la necesite.

La casa es 100% reciclable, con forma de panel que le otorga resistencia estructural. Un problema es que al ser impresa hay que transportarla al lugar y anclarla con cemento al suelo.

La idea de refugios rápidos en caso de desastre es uno de los campos donde este sistema tiene mayor cabida por su versatilidad y coste. (Douma, s. f.)



*Ilustración 58 - Detalle de acabado plástico*



*Ilustración 59 - Modulo de plástico*

## 6.23. BAÑOS PÚBLICOS DE SUZHOU

En septiembre de 2016 – WinSun desvela sus diseños de impresión 3D para baños públicos.

WinSun ha instalado en la montaña de Da Yang, unos baños creados con su técnica de impresión 3D.

Hasta el drenaje subterráneo ha sido creado con esta técnica. Una vez diseñados e impresos por módulos, lo transportan a obra y allí los ensamblan. («WinSun China unveils fully 3D printed public toilets in Suzhou», s. f.)



*Ilustración 60 - Vista general baños*



*Ilustración 61 - Saneamiento inferior prefabricado*



*Ilustración 63 - Transporte de los prefabricados*



*Ilustración 62 - Colocación de piezas*

## 6.24. XTREEE

En septiembre de 2016 – Una Startup francesa XtreeE, junto con EZCT Architecture & Design Research, han creado por primera vez en Europa, el primer elemento estructural impreso con cemento en 3D.

Además de “Le Pavillon” en Vélzy (Francia), este grupo ha creado un elemento estructural resistente solo con cemento, uno de los primeros pasos hacia las estructuras ya no solo meramente decorativas, sino que además pueden soportar carga, lo llaman “Aix-en-Provence”. (Gaudilliere, s. f.)



*Ilustración 64 - Primer pilar estructural en Europa*

## 6.25. TU EIDHOVEN

En octubre de 2016 – La universidad de TU Eindhoven, en los Países Bajos, ha conseguido el permiso del ayuntamiento para construir una casa con una impresora 3D, la primera de este tipo en Europa.

La impresora se desveló en 2015, en desarrollo con ROHACO, con dimensiones de 9x4.5x2.8 m prometen mejoras en este tipo de impresión en éste próximo paso, de hacer estructuras simples a una casa completa. («Eindhoven plans to built Europe's first 3D printed concrete house», s. f.)



*Ilustración 65 - Máquina*



*Ilustración 67 - Detalle*



*Ilustración 66 - Curvas*

## 6.26. CAPEADO VARIABLE

En noviembre de 2016 – Se mostró un algoritmo, con atribuciones de creative commons desarrollado por Autodesk, que pretende solventar una de las trabas a la hora de imprimir, el tamaño de capa.

Hasta ahora, cuando se iba a imprimir se definía una altura de capa a modo de definición del objeto. Pero la realidad es que hay zonas que son planas y una capa más grande terminaría el trabajo antes, pero zonas muy complejas requieren que las capas sean más pequeñas para otorgar más definición.

Aquí es donde entra este algoritmo, cambiando la altura de capa según la necesidad, haciendo que la pieza se haga en un tiempo mínimo con un máximo de detalle. (Autodesk Ember 3D Printer, s. f.)

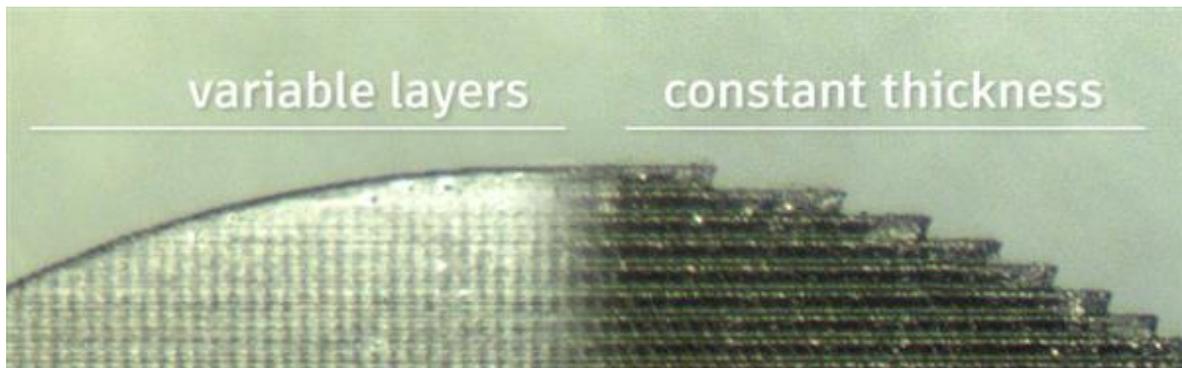


Ilustración 69 - Curva

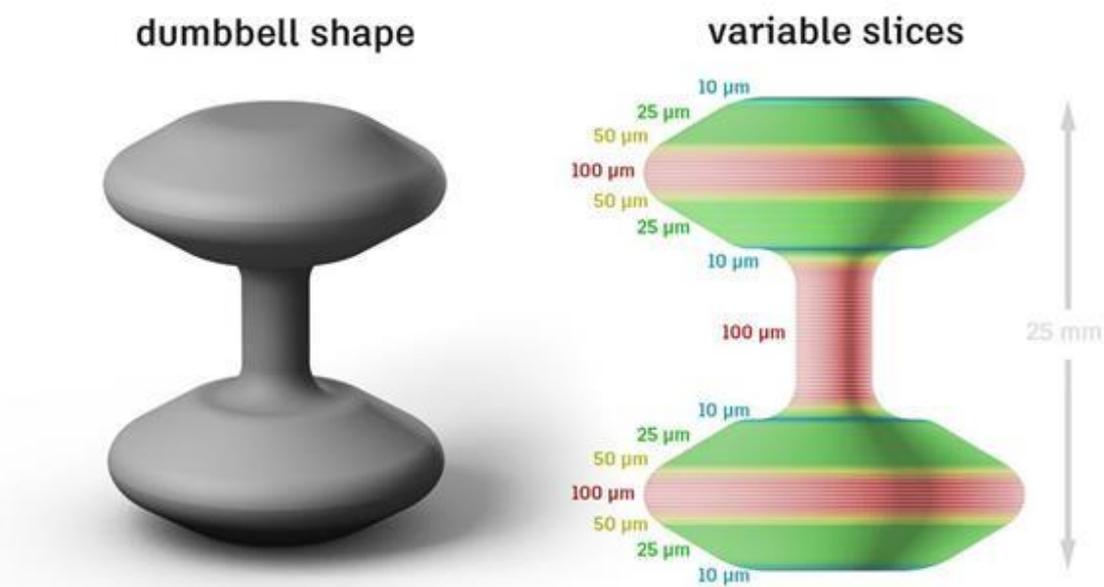


Ilustración 68 - Variación de alturas

## 6.27. KAI PARTHY – REFUERZO ESTRUCTURAL

En noviembre de 2016 – Kay Parthy, inventó una solución fantástica para la solucionar uno de los problemas de la impresión 3D, la tensión en la pasta.

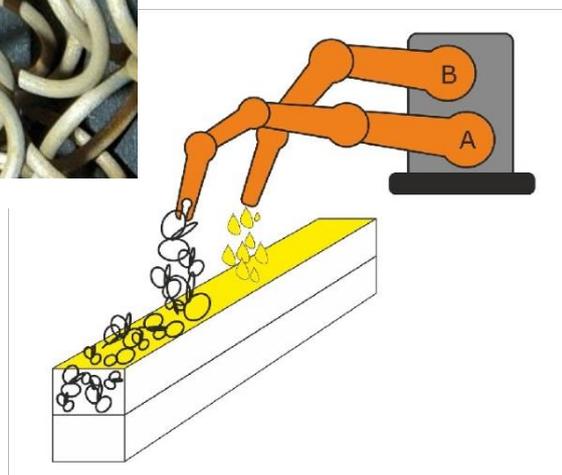
Al igual que armamos un muro de hormigón, esta solución propone la introducción de unos hierros ligeramente flexibles, que proporcionan esa resistencia a la tensión que necesita la pasta en sustitución a las fibras. («Kai Parthy makes construction 3D printing viable with scalable BMSF steel reinforcement inserts», s. f.)



*Ilustración 70 - Hierros*



*Ilustración 72 - Ejemplo*



*Ilustración 71 - Modo de ejecución*

## 6.28. PUENTES IMPRESOS EN 3D

En diciembre de 2016 – En Alcobendas, España, se construyó un puente de 12 metros de longitud y 1.75 de ancho por el IAAC.

Hecho de 8 piezas separadas que encajan para hacer una sola, acciona ensamble el puente, poniéndose a la cabeza de Europa en ingeniería civil impresa en 3D.

La idea de usar la impresión 3D para entornos urbanos es una de las mejores soluciones para explorar los límites de esta técnica, desde bancos, a basuras o incluso restauración de patrimonio histórico. («Spain unveils world's first 3D printed pedestrian bridge made of concrete», s. f.)



*Ilustración 73 - Puesta en obra*

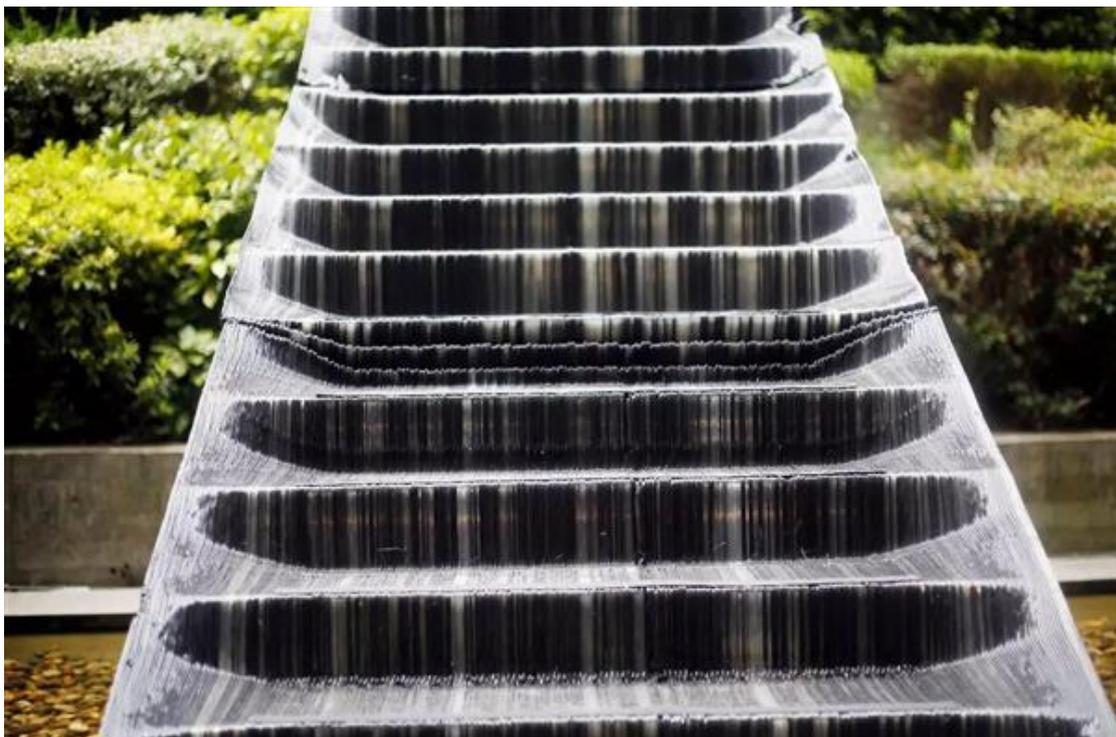


*Ilustración 74 - Foto final*

Tras estos primeros pasos le siguió en julio de 2017 el puente de plástico de Tongji University. Un puente de 11 metros de largo y otro de 4 metros. («Bridge over river Shanghai: Tongji University unveils China's 1st 3D printed pedestrian bridges», s. f.)



*Ilustración 76 - Perspectiva*



*Ilustración 75 - Detalle*

Además de estos dos ejemplos, dos países más, se adentraron en la lista de países con puentes impresos en 3D, el puente de Obayashi Coportation y el puente para ciclistas de Gemert. («Obayashi Corporation's 3D printed curved bridge first of its kind in Japan», s. f.)



*Ilustración 78 - Puente en Japón*

(«World's first 3D printed bicycle bridge opens to cyclists in Netherlands», s. f.)



*Ilustración 77 - Puente en los Países Bajos*

## 6.29. CYBE RC 3DP

En diciembre de 2016 – Una compañía de los Países Bajos, desveló una impresora 3D móvil, la primera de su género, que se mueve con orugas y capaz de alzarse para llegar a imprimir hasta 2,75 m de altura.

Promete mayor versatilidad y movilidad, además de unas velocidades medias de 200mm por segundo y de máximos de hasta 600mm por segundo. («CyBe Construction | Redefining construction with 3D Concrete printing», s. f.)



*Ilustración 79 - Escala*



*Ilustración 80 - Elevacion CyBe*

## 6.30. APIS COR

En febrero de 2017 – Apis Cor, una empresa de San Francisco construyó en Stupino, Rusia, un edificio de 37 metros cuadrados y todo ello en menos de un día.

Con una máquina de 4x16x1.5 metros, que pesa 2 toneladas, imprimen con su propia mezcla de cementos, hoy en día les costaba alrededor de 120 euros el metro cubico.

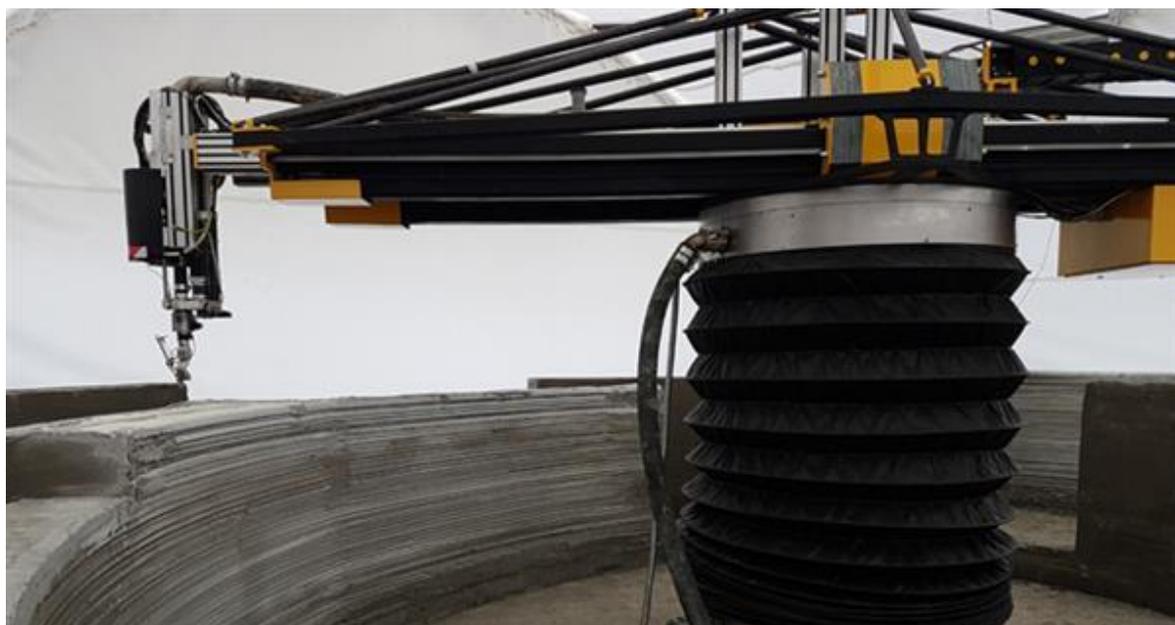
Con un máximo de operación de 132m<sup>2</sup>, y 3.1m de altura a una velocidad de 1-10 metros por minuto y con un máximo de 20, puede dejar atrás a muchas máquinas.

Una de las características visibles a la hora de construir es la necesidad de una cobertura que permita mantener las temperaturas de trabajo hasta nevando y evite también que se



*Ilustración 82 - Terminada*

humedezca demasiado. («3D printing construction company Apis Cor prints 37 m<sup>2</sup> house near Moscow, plans global expansion», s. f.)



*Ilustración 81 - Máquina*

## 6.31. #NEWPALMIRA

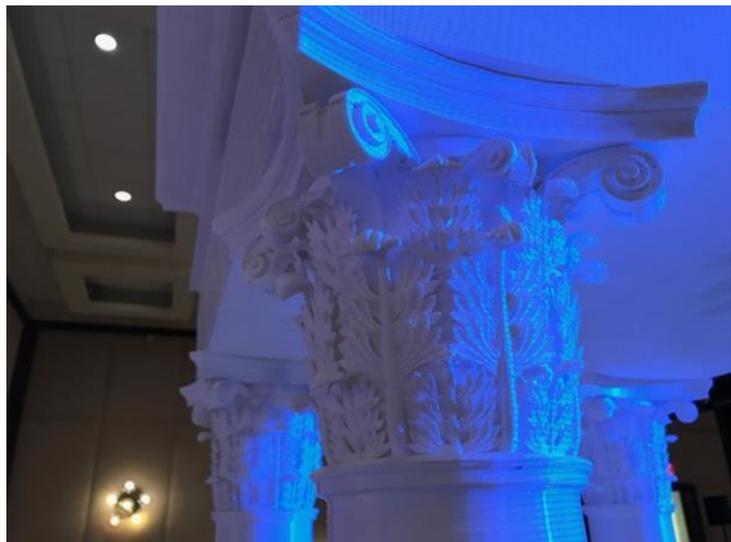
En mayo de 2017 - Se mostró en Toronto, una réplica a escala del Tetrapylon, un monumento que existía en Siria antes de que el ISIS lo destruyera junto con otra gran cantidad de obras y patrimonio UNESCO.



*Ilustración 83 - Tetrapylon*

El proyecto #NEWPALMIRA se centra en la creación de modelos 3D de sus monumentos destruidos, la mayoría a partir de fotografías anteriores a la destrucción.

Por ahora con 6 modelos, todos ellos pueden ser impresos y distribuidos con licencia Creative Commons de dominio público.



*Ilustración 84 - Detalle capitel*

Esta plataforma es una forma de preservar el patrimonio Sirio, mostrarlo al mundo y además dar vías a la digitalización de todos los monumentos para preservarlos incluso si hay desastres.

(«#NEWPALMYRA», s. f.)



*Ilustración 85 - Escala*

## 6.32. YHNOVA

En abril de 2017 – TICA presentó una iniciativa en Francia, cerca de Nantes, la construcción de un edificio de 95m<sup>2</sup> con carácter de alojamiento social con una técnica conocida como BatiPrint3D.

El proyecto llamado Yhnova, está comenzando a imprimir sus primeras pruebas con un proceso de extrusionado material estilo espuma que confiere el aislamiento térmico para el edificio.

Se espera que la casa tenga 5 habitaciones, en un sitio rodeado de árboles, donde

las técnicas tradicionales serían algo ineficientes al tener que derribar parte de ellos para pasar con la maquinaria. Éste planteamiento hace que en lugares más inaccesibles se considere la construcción 3D.

(«3D printed “Yhnova” social housing project breaks ground

s. f.)



*Ilustración 86 - Emplazamiento rodeado de árboles*



*Ilustración 87 - Impresión de espuma*

near  
Nantes,  
France»,

## 6.33. MATERIAL RECICLADO

Durante el 2017 – Se han obtenido nuevas fórmulas para imprimir cemento, y centrando aún más el tema de respeto al medio ambiente, se proponen ya mezclas que tienen hierro triturado, restos de cemento de antiguas construcciones o cenizas de la combustión de carbón hasta incluso la creación de geopolímeros de cemento que son activados con geosilicatos.

En la primera imagen vemos el compuesto de geopolímeros que se ha creado por Andrey Dudnikov y Alex Reggiani, para Renca, una marca de Dubái, y el activador de dicho geopolímero. Una de las premisas de este proyecto era disminuir el coste de energía para producir el cemento, que se pierde en el proceso de combustión del Clínker, creando una mezcla con base de resinas con un activador para el “fraguado”



*Ilustración 88 - Geopolímero 1*

En la segunda podemos observar el equipo de investigadores de Nanyang Technological University, con su mezcla de geopolímeros con cenizas, hierro y otros compuestos. («Dubai-based Renca develops “green” 3D printing cement made from industrial waste», s. f.)

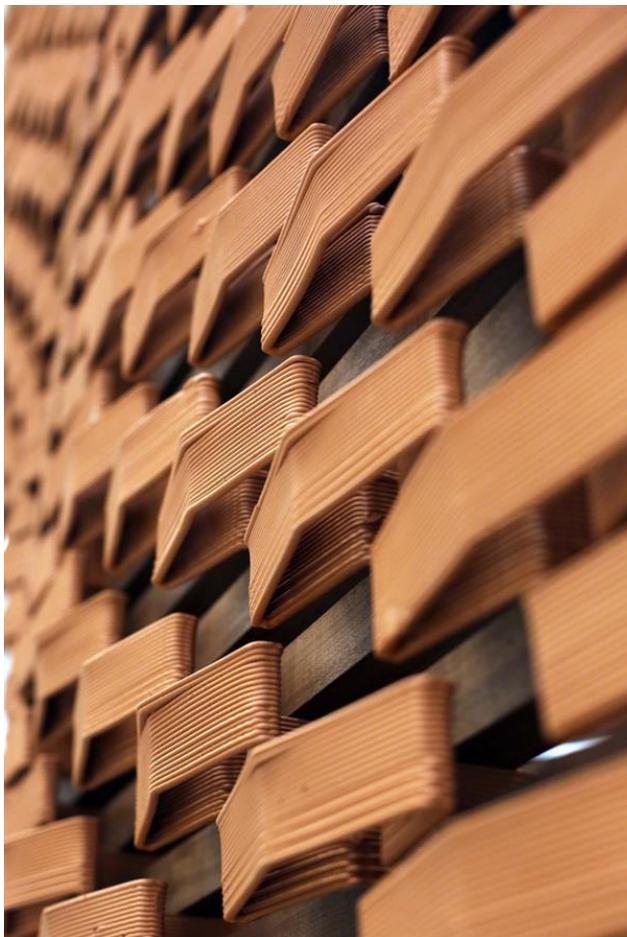


*Ilustración 89 - Geopolímero 2*

## 6.34. LADRILLOS IMPRESOS

En septiembre de 2017 – En el Ceramic Constellation Pavilion, en Hong Kong, se presentó una escultura de más de dos mil ladrillos únicos.

Esto revela una forma de construir no sólo de imprimir la fachada sino la capacidad de imprimir ladrillos únicos para conformar paramentos hasta ahora imposibles. («Ceramic Constellation Pavilion: New Hong Kong pavilion incorporates over 2,000 3D printed bricks», s. f.)



*Ilustración 91 - Detalle ladrillos*



*Ilustración 90 - Pilar de ladrillo*

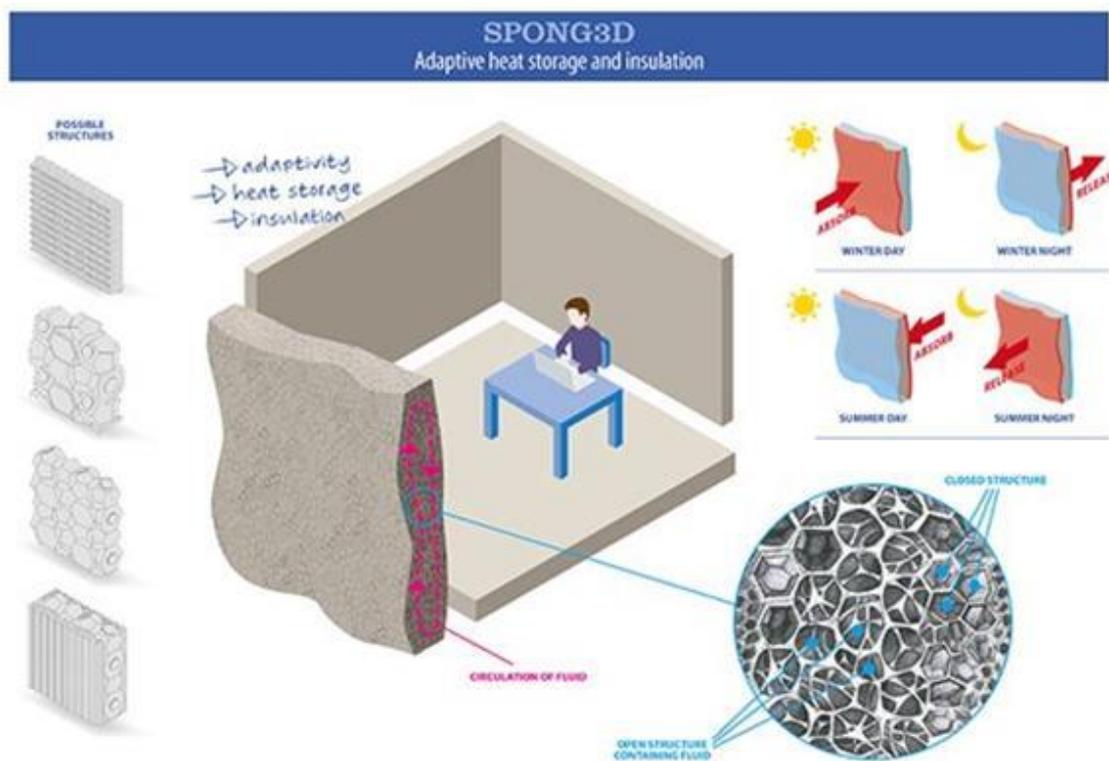


*Ilustración 92 - Diferencia de ladrillos*

## 6.35. FACHADA ADAPTATIVA

En agosto de 2017 – Un equipo de investigadores de los Países Bajos, ha creado Spong3D. A diferencia de los últimos artículos sobre impresión con cemento y cerámicos, Spong3D propone una solución plástica para fachadas, que ayudaría a mejorar las condiciones térmicas y de aislamiento adaptándose con el ambiente exterior.

Con la inclusión de huecos, se puede prever un sistema de líquidos que pasen dentro de la misma estructura aportando calor al ambiente y aislándolo del exterior a placer con el movimiento del mismo en el interior. («Adaptive 3D printed facade system



*Ilustración 93 - Spong3D*  
Spong3D could hugely improve thermal performance of offices and homes», s. f.)

## 7. CONCEPTOS BÁSICOS

El método de Manufacturación Aditiva (AM) utilizado en el ámbito de la construcción varía según el material que queramos procesar: extrusión de material para materiales líquidos como la pasta de mortero o el hormigón, deposición de energía dirigida para la creación de elementos metálicos como barras, chorro aglutinante para materiales como yesos o escayolas, depositado de bloques para la construcción de muros o cama de polvo para la creación de estructuras complejas que requieran gran nivel de detalle.

El principal, y en lo que se basará gran parte de la edificación, es el Contour Crafting, de Behrokh Khoshnevis. Un proceso que toma las bases de la impresión 3D por extrusión de material, para crear muros, pilares, soleras, y formas complejas y con la oportunidad de realizar un edificio completo con la misma máquina.

La impresión de cerámicos, por material extruido, y posteriormente cocido o curado es otro de los ámbitos que pueden tener gran repercusión en la edificación, como por ejemplo para crear elementos en restauración, elementos decorativos o creación de cubiertas con cerámicos.

Los metales por su cuenta pueden ser impresos en la misma obra, o ser realizados de propio para estructuras singulares, con métodos como la Deposición de Energía Dirigida (DED). Una técnica que permite crear barras y estructuras, difícilmente mecanizables.

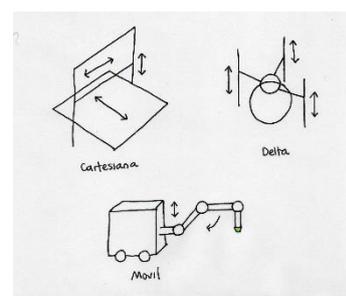
De ahora en adelante me ayudare de dibujos para poder explicar cada uno de los conceptos, métodos, pruebas, problemas y soluciones a considerar.

### 7.1. TIPOS DE IMPRESORAS

Las máquinas, según su guía de coordenadas, o su manera de imprimir el material, se pueden ordenar en distintos tipos. Independientemente del tipo de impresión que utilicen, las máquinas pueden usar conceptos similares ya sea para crear metales por DED, o FDM, ya que los ejes de movimiento y comportamiento no influye en el material a tratar.



*Dibujo 1 - Leyenda*



*Dibujo 2 - Concepto de Impresora*

## 7.1.1. *Cartesianas*

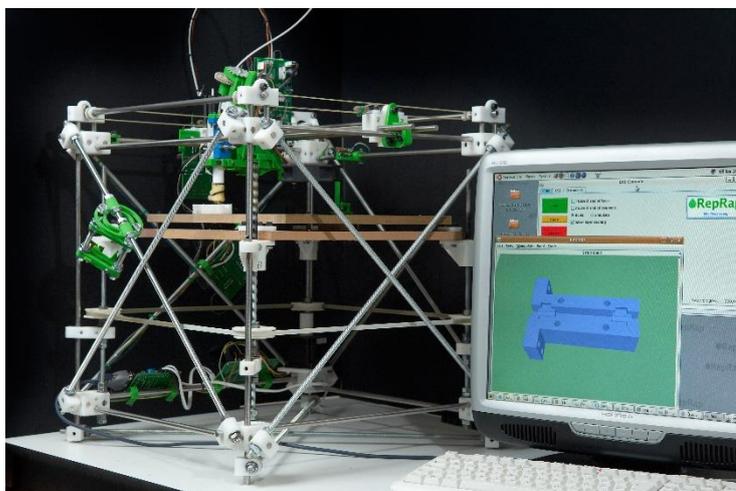
Obtienen su nombre porque se mueven en los 3 ejes, para determinar puntos. Los ejes X, Y y el Z. Es el modelo más sencillo de manejar y construir. La primera impresora 3D de la comunidad RepRap, fue una de tipo cartesiano, la Darwin.

### 7.1.1.1. *De movimiento XY*

Las cartesianas de movimiento XY, se caracterizan porque el cabezal con el extrusor se mueve en las coordenadas X e Y, siendo ambas paralelas a la base. Y el movimiento de la base de manera vertical, en el eje Z, e ir desplazando la base del extrusor.

Uno de los problemas comunes de este tipo de impresoras, era que la base, al tener que estar perfectamente nivelada, no podía soportar demasiado peso, o se torcería produciendo fallos en la figura.

La primera impresora en utilizar este sistema fue la Darwin, y un ejemplo de este sistema es la Stacker S2.



*Tipo de Impresora 1 - Darwin*

### 7.1.1.2. *Core XY*

Core XY es un sistema cartesiano ideado por Ilan E. Moyer, que combina los motores X e Y conjuntamente para determinar el movimiento de la boquilla. Sigue siendo muy similar a la cartesiana de eje XY, pero es mucho más veloz y las correas son dos cruzadas.

Algún ejemplo serían AluXY by "Zelogik" o la VSlot-CoreXY («CoreXY | Cartesian Motion Platform», s. f.)

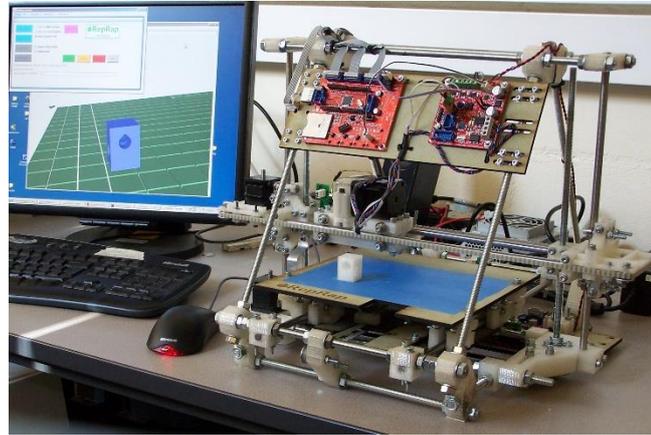


*Tipo de Impresora 2 - Core XY*

### 7.1.1.3. De movimiento XZ

En las cartesianas de movimiento XZ, el extrusor se mueve en el eje X, de manera paralela a la cama, y en el eje Z, de manera vertical. Dejando que la cama se mueva sobre el eje Y.

Uno de las mejoras que conllevaba este sistema, era que la base podía soportar mayor peso al no tener que moverse verticalmente, y la posibilidad de añadir un auto-nivelador, que reconoce las diferencias de altura tomando puntos de referencia, y corrige el trayecto del eje X y su altura en el eje Z, para que el extrusor pueda mantener siempre una impresión totalmente plana y nivelada, incluso con una cama o una base de acción sin nivelar.



*Tipo de Impresora 3 - Mendel*

La primera impresora en introducir este sistema es la Mendel, la segunda versión de la Darwin. El ejemplo más común es la Prusa i3 y su versión RepRap, que haría que proliferaran las copias chinas en forma de Kit de construcción personal, como las Anet o las Tronxy.

### 7.1.1.4. De movimiento XYZ

En las cartesianas de movimiento XYZ, el extrusor se mueve en todas direcciones. Sin necesidad de una base fija o móvil.

La mayor libertad de este tipo de máquinas es que se pueden colocar en cualquier lugar, y ya que no necesitan una base donde imprimir, pueden producir el objeto directamente en el lugar donde ha de quedar definitivamente.

Un ejemplo es la maquina ideada por Behrokh Khoshnevis o la Universidad de Loughborough, que consisten en una estructura externa móvil, donde la boquilla se mueve en ambos ejes horizontales y en vertical, pudiendo crear muros y el propio edificio in situ, o en las bases de naves industriales.

A la izquierda se puede ver la V0 que equivale a la cartesiana de eje XYZ y a la derecha un brazo robótico.



*Tipo de Impresora 4 - V0 (izda.)*

### 7.1.2. Deltas

Las deltas también trabajan con los planos ejes cartesianos, pero la estructura es muy distinta. El nombre proviene de la forma de soportar y mover el extrusor, con tres brazos articulados, que suben o bajan en función de la necesidad del punto para acercarlo o alejarlo del extrusor.

La base en este caso pasa a ser circular, diferenciándolas de las cartesianas y sus bases rectangulares. Debido a que lleva menos peso en los ejes, permite una impresión más rápida y precisa, con menor inercia en sus movimientos.

Un ejemplo de este tipo de máquinas es la WASP.

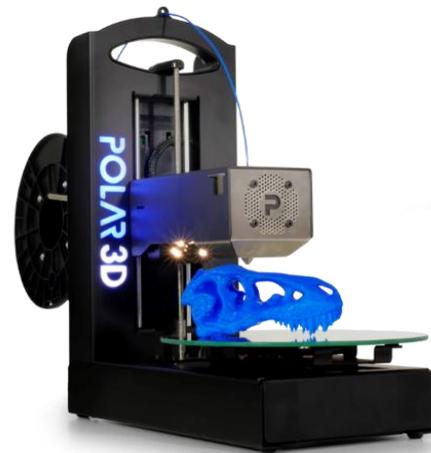


*Tipo de Impresora 5 - Delta WASP*

### 7.1.3. Polares

Las polares se caracterizan por tener una cama giratoria, y un extrusor que apenas se mueve. El movimiento del extrusor se limita al vertical y el de la placa a girar a la izquierda y la derecha y acercarse y alejarse.

El modelo que usa este sistema es la Polar 3D.



*Tipo de Impresora 6 - Polar 3D*

### 7.1.4. Brazos robóticos

Tiene también el nombre de Brazo Robótico de Ensamblaje de Compilación Selectiva (Selective Compilant Assembly Robot Arm), o de Brazo Robótico Articulado de Ensamblaje Selectivo (Selective Comiplant Articulated Robot Arm). En su definición es un brazo robótico que se mueve en el plano XY, y para moverse en el plano Z se eleva desde la base o simplemente se le añade otra articulación.

El ejemplo en este caso podría ser el CyBe RC 3Dp. Que combina todo esto para crear una impresora móvil.



*Tipo de Impresora 7 - CyBe RC 3Dp*

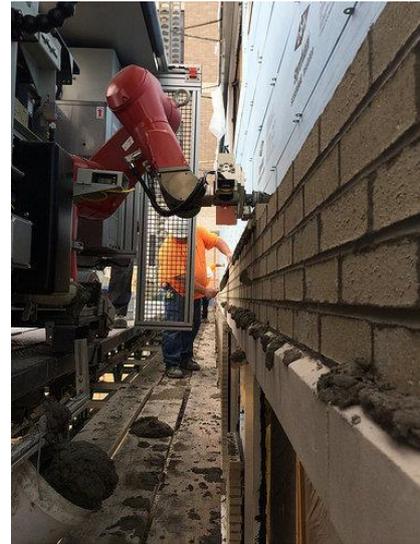
### 7.1.5. Depositado de Bloques

Las máquinas de deposición de ladrillos no son consideradas directamente impresoras 3D por la (ASTM) pero merecen una especial mención dado su similitud y capacidad de inclusión en el mundo de la construcción en los próximos años. Son más bien considerados brazos robóticos, pero también pueden tener la connotación de extrusión de material, pero en vez de ser líquido, una pasta, o polvo, este tipo de máquinas agarran uno a uno los ladrillos o bloques, les unta la pasta de mortero, y lo coloca en su posición.

Podría ser considerada como la automatización del proceso de levantado de muros, pero por su parecido a la impresión por extrusión de material, algunas empresas también lo consideran impresión 3D o Manufacturación Aditiva, dado que depositan material por capas.

El depositado por bloques usa la teoría de la extrusión de material, combinada con la libertad de un brazo robótico. Dos tipos son los grandes referentes hoy en día:

- Hadrian, de Fastbrick Robotics: capaz de extender su brazo increíblemente lejos para crear construcciones de forma libre.
- SAM 100 de Construction robotics: que ha de ser puesta en línea con el muro a construir, pero con la ventaja de que este modelo, guiado por láser, ya agrega la pasta a la hora de colocar el bloque.



*Tipo de Impresora 8 - SAM 100*

## 7.2. ALIMENTADO

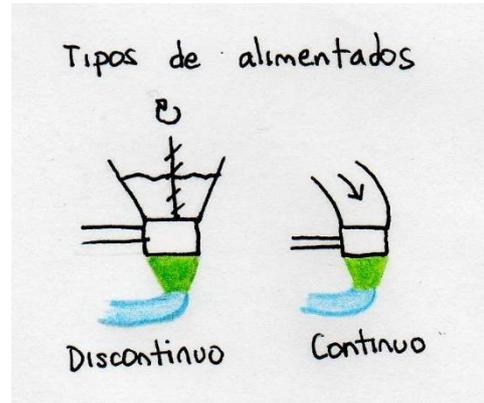
A la hora de hacer el alimentado de la pasta para extrudir existen dos tipos principales, el continuo y el discontinuo.

El discontinuo consta de un embudo con un tornillo sinfín situado sobre la boquilla por el cual se vierte la pasta o un tubo con material en su interior a modo de cartucho.

- Pros: no necesitas un sistema de bombeo adicional para piezas singulares que necesitan muy poca pasta.
- Contras: limita la cantidad extruida, y ha de recargarse manualmente. Puede tener cambios entre una amasada y otra por humedad y ligeros cambios en la masa.

El continuo funciona con una manguera que alimenta la pasta a la boquilla directamente.

- Pros: no hace falta rellenar la pasta manualmente. Para grandes cantidades e impresiones largas es mucho mejor y más preciso ya que se controla la cantidad de bombeo y presión. El control de la pasta es mucho más preciso ya que el amasado es con máquinas que proporcionan mayor precisión que un amasado a mano, proporcionando mayor uniformidad.
- Contras: Una vez terminada la impresión, hay que limpiar la manguera. Es necesaria maquinaria adicional para el mezclado y bombeo de la pasta.

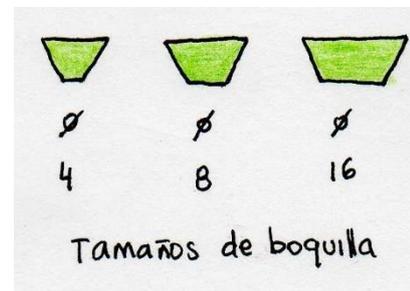


Dibujo 3 - Alimentado

### 7.3. BOQUILLAS, TIPOS Y DIÁMETROS

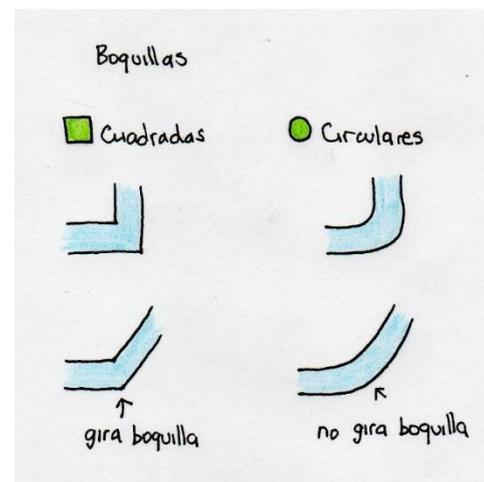
La boquilla es el punto por el que vamos a extrudir nuestra pasta. Existen varias formas y tamaños de boquillas, que nos darán un extruido de distintos grosores y formas.

Los tamaños influyen en la velocidad de impresión y el detalle, pero tienen que ver con el diámetro del árido. Con una boquilla más pequeña se puede conseguir más definición, pero se sacrifica velocidad. En cambio, con una boquilla de mayor diámetro extrusionaremos mayor cantidad de material, pero perderemos definición.



Dibujo 4 - Diámetro de Boquilla

La forma de la boquilla también influye, pero menos, ya que con ambos se pueden conseguir resultados muy similares. Tendríamos 2 tipos muy comunes, las circulares y las cuadradas. Una diferencia es a la hora de hacer esquinas, que las rectangulares te permiten hacerlas con ángulos perfectos y las circulares tienen una curvatura. Y la otra diferencia es la hora de imprimir, las cuadradas tienen que girar la boquilla para hacer ángulos y las circulares no necesitan pivotar para continuar el camino de extrusión.



Dibujo 5 - Forma de Boquilla

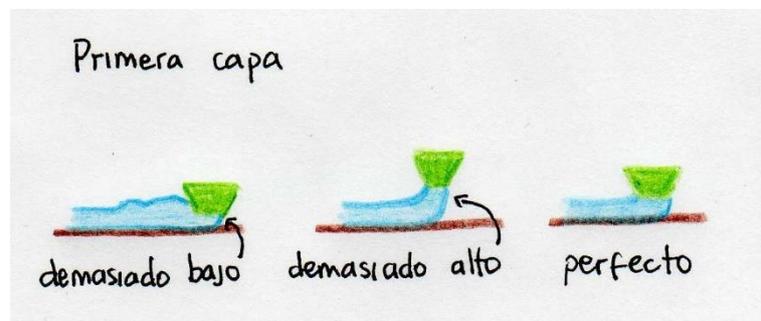
Uno de los problemas de las cuadradas es que al crear esquinas, si la boquilla no gira, pliegues en las esquinas. Un fallo en la pasta que evita tener la consistencia uniforme y el acabado liso.

## 7.4. LA PRIMERA CAPA

La primera capa es la más importante, ya que indica como se ha adherido y asentado en la base, que puede ser una solera; o si son prefabricados, en bases metálicas o con plásticos para poder despegarlas posteriormente.

Si la maquina está bien calibrada, la primera capa será continua y dejará una base totalmente lisa, que proporcionará una adherencia óptima del material a la base.

Si está demasiado elevada la boquilla de la base, la pasta "caerá" en vez de ser depositada y puede generar desperfectos y discontinuidades. Creando burbujas, huecos, o curvas.



Dibujo 6 - Primera capa

Si en cambio está demasiado cerca de la base, el flujo será demasiado produciendo excesos puntuales de pasta, o incluso pudiendo llegar a obstruir la boquilla.

## 7.5. ALTURA DE CAPA

La altura afecta a la velocidad y definición de la pieza. Según el tipo de piezas que vayamos a construir o el tamaño tendremos que decidir que altura de capa usar.

Según la guía de calibración RepRap, los mejores resultados son obtenidos cuando la altura de la capa no es mayor del 80% del diámetro de la boquilla, el ancho es mayor o igual que el diámetro de la boquilla. Esto es porque si se extrude más material, se descontrola.



Dibujo 7 - Altura de capa

La altura de capa mínima vendría referenciada por el tamaño del arido que tenemos. Así pues tendremos más detalle con yesos que con morteros ya que nos dan más juego con las alturas de capa.

Las capas gruesas nos daran mayores velocidades, evitándonos tiempo de impresión, y una mayor homogeneidad del material. Además al no tener tantas juntas de capa, serán más resistentes y tendrar menor probabilidad de producirse desplazamientos tangenciales.

Las capas más finas en cambio, son mejores para detalles, como en cerámicos. El tiempo que tardan es mucho mayor, pero permiten mayor definición. La pega adicional al tiempo, es la cantidad de capas, que hace que tenga mayores puntos débiles dado que el punto de adherencia es peor.

Lo verdaderamente óptimo es que se pueda idear una altura de capa gradual. Una altura de capa que sea grande cuando se necesite una impresión rápida como relleno por ejemplo, y una altura de capa mas fina para la terminación en detalles como cerámicos.

Recientemente Autodesk ha diseñado VarySlice, una manera de laminar distintas figuras para hacer cambios de capa gradual dividiendo el cuerpo en partes según su necesidad de altura de capa, y otros software de laminado como Simplify3D han incorporado la posibilidad de que partes del modelo 3D tengan cambios de capa graduales. Lo cual abre la posibilidad de cambios de capa menos visibles en las figuras donde se necesita mayor velocidad manteniendo el mayor detalle posible.

## 7.6. VOLADIZOS Y SOPORTES

La densidad, plasticidad, y velocidad de puesta en obra nos permitirá unos voladizos de mayor o menor ángulo.

Antes de empezar a construir, debemos saber qué ángulo nos permite ese material, ya que, según la inclinación de los muros o voladizos, puede que necesitaremos aplicar soportes o no.

Si hay que pasar un hueco o se supera el ángulo máximo de inclinación, será necesario soporte. El soporte deberá de ser de otro material a ser posible, para evitar adherencias con el mismo, o si es del mismo, idearlo para una retirada posterior. Cuando se utiliza el mismo material de soporte, se suele dejar una capa vertical y un espaciado horizontal para que no se fusione con la estructura original, lo que nos permitirá retirarla fácilmente.

Behrokh Khoshnevis, a este problema le propone la solución de cortar el material mientras aún está fresco, consiguiendo una retirada posterior mucho más sencilla o la inclusión de una estructura, depositada con un gancho, en la parte superior del marco de la ventana.

Para huecos como ventanas y puertas, se pueden hacer unas estructuras de madera o incluso metálicas, que se sitúen mientras se está imprimiendo.

Si los soportes están hechos del mismo material tendrá que estar separado de la masa principal para poder retirarlo posteriormente, separarlos ligeramente,

rociados con un material intermedio o puestos en obra en tiempos distintos pueden ser soluciones perfectamente adoptables.



*Dibujo 8 - Voladizos y soportes*

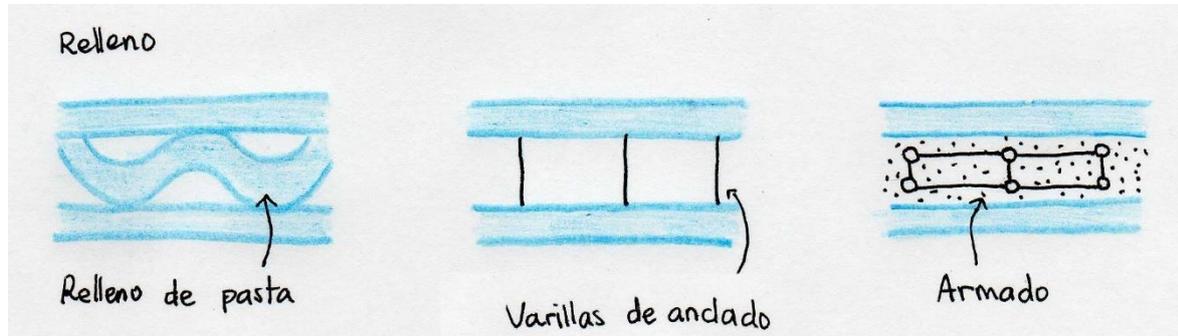
## 7.7. RELLENO

El relleno varía dependiendo del objeto y su finalidad, teniendo rellenos resistentes en muros de carga, rellenos aislantes en particiones o huecos, rellenos que meramente den rigidez a la estructura y todas las variantes que se quieran idear.

En los dibujos de ejemplo se muestran varios rellenos:

- Pasta: se va relleno al mismo tiempo que crece el muro. se usa la misma masa para relleno en zigzag y darle algo de resistencia. No le caracteriza de propiedades aislantes y lo hace más pesado, pero lo rigidiza.
- Varillas: Cada x número de capas se disponen unas varillas que sirven para apuntalar un muro contra otro. Apenas aportan resistencia, sólo son para evitar que se tumbe un muro contra otro.
- Armado: Mientras se eleva el muro se deja un hueco que más adelante se relleno de una armadura y hormigón. En este caso, el material del muro, jácena, pilar, vigas, etc...puede ser menos resistente ya que las cargas las soportará el armado interior y la parte impresa apenas servirá de encofrado.
- Instalaciones: Mientras se relleno de hormigón, pasta o el material elegido, se pueden prever huecos para las instalaciones. Para pasar tubos de agua, cableado o incluso dejar huecos para enchufes.

- Aislado: Tras hacer una capa se puede disponer de aislante térmico y acústico en el interior antes de proceder al cerrado del muro por la otra capa.



*Dibujo 9 - Relleno*

Es interesante que combinen rellenos, para que un muro además de estar aislado acústicamente, tenga pensados los huecos para las instalaciones eléctricas o que un forjado, además de ser resistente, tenga integrado las instalaciones de saneamiento.

## 7.8. ACABADOS

El acabado del muro puede hacerse durante la puesta en obra, o después de haber sido depositado.

El acabado mientras se imprime la pasta depende de la boquilla o de algún adaptador que venga después o acoplado a la misma. Un ejemplo para el acabado de una pieza es que la boquilla lleve una pletina, o pequeño trozo de metal que le dé la forma lisa a la capa exterior, o dos, una a cada lado, si es necesario en ambas caras del muro. La forma de la boquilla y las placas que tenga, darán la forma al conjunto, pudiendo dejarlo estriado, haciendo la terminación de un muro, creando impresiones cíclicas como puede ser curvas en el muro, o líneas simulando un ladrillo caravista.

El acabado posterior, o comúnmente llamado en la impresión 3d, el post-procesado, se puede llevar a cabo alisándolo el muro con una maestra o llana, creando relieves, o imprimándolo de resinas o pinturas que protejan a la pieza de la humedad, cambios de temperatura o el viento.

Se le pueden cargar sobre las piezas, aplacados de material o dejarlos a la vista, pero la pieza si se le hace un post-procesado, mejorará su calidad y prolongará la vida del mismo.



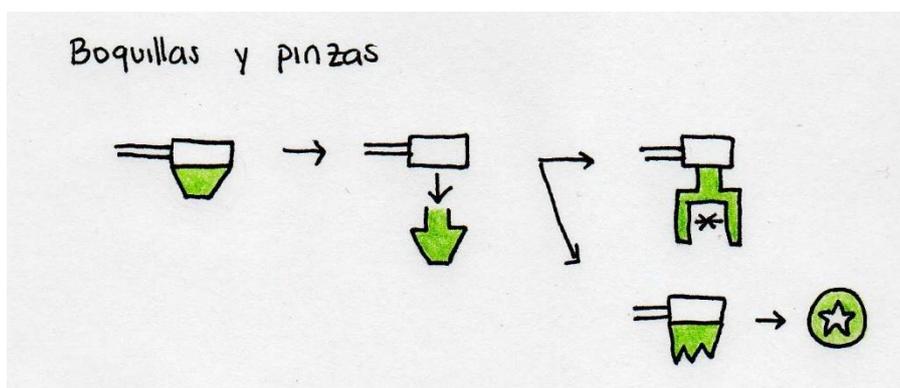
Dibujo 10 - Acabado

## 7.9. CAMBIOS DE PUNTA

Los cambios de boquilla es una de las mayores versatilidades de este estilo de máquinas. Algunos ejemplos serian:

- Boquillas de distinto diámetro: Dando la capacidad de imprimir detalles o avanzar zonas mucho más rápido.
- Cambio de tipo de boquilla: según la necesidad de boquillas circulares, cuadradas o especiales para acabados o decoración como puede ser una estrellada.
- Puntas distintas: además de las boquillas para extrudir material, podemos disponer de pinzas para elevar vigas, cortar material, taladros para realizar agujeros, elementos para medir y comprobar datos como láseres, etc.

La capacidad que le da el intercambio de boquillas para usar distintos diámetros, terminaciones, acabados, o incluso el uso de pinzas, piezas de corte o taladros, lo convierten en una de las máquinas con mayor utilidad a la hora de construir que se haya visto.



Dibujo 11 - Cambio de punta

## 7.10. MULTITRAZOS

Los multitrazos, extrusión múltiple o las impresoras con varias boquillas al mismo tiempo permiten la impresión de varios materiales, sin necesidad de cambio de boquillas o de alimentado. Mientras que una boquilla puede estar imprimiendo la pasta, otra boquilla por delante puede depositar un ligante que permita unir las capas entre si más fácilmente. Una boquilla puede estar imprimiendo el material base, y otra un material que sirva solo para los soportes y que sea más sencillo de retirar.

El tiempo para la construcción puede ser menor, ya que no hay que realizar cambios o pausas entre una impresión y otra. Simplemente se programan los puntos en los que se necesita cada material y cuando la boquilla realice su recorrido soltara el material en función de la necesidad.

Una desventaja, es problema con giros, si se realizan, que hace que la boquilla entera deba de girar para mantenerlas en línea, el agregado de coste por los dos bombeos y la cantidad de cables y tubos que hay que incluir.

Si no es necesario, una boquilla es suficiente, pero la opción de poder imprimir dos materiales al mismo tiempo, agiliza trabajos y tiempos de deposición.



*Dibujo 12 - Multitrazo*

## 8. EL MÉTODO

El proceso a seguir es el diseño de un objeto 3D en un programa que se exporta en formato STL u OBJ, como objeto sólido tridimensional y se lamina con otro programa, que da como resultado un archivo en formato ".gcode" (.gcode es el formato más utilizado, aunque puede que otras máquinas puedan leer solo códigos propios de la empresa como pasa en el ejemplo de las cubex), que tiene la información necesaria, sobre la velocidad, extrusión, pausas, elevaciones y movimientos de los ejes que la máquina ha de seguir para construir dicha pieza.

Según la máquina y lo avanzado que sea el software, se puede incluir todo tipo de información en el código, como temperatura, variaciones altura en los ejes según el plano, información que queremos que aparezca en el monitor pausas, el control de sensores de nivel, reproducción de sonidos cuando termina o alcanza velocidades máximas, etc.

### 8.1. DISEÑO

El diseñador tendrá que tener en cuenta que es lo que se puede y que no se puede hacer a la hora de crear el objeto en 3D, como según que tamaños de detalles, o la extensión del mismo, mientras que en el laminado deberá de tenerse en cuenta todas las propiedades de material, como consistencias, velocidades de puesta en obra, tiempos de pausa, soportes, etc.

Hay gran cantidad de Software que pueden ser utilizados para el diseño, como Sketchup, Revit, Fusion, TinkerCAD, Rhinoceros, Meshmixer... Casi todos programas te permiten exportarlo en varios formatos, y en concreto el STL y OBJ, que es una forma tridimensional por triángulos para poder laminarlo.

La cantidad de detalles depende, además de la impresora, del programa utilizado, ya que influye tanto el diseño modelado como la información que contiene. Por ejemplo, no es lo mismo un modelo que se pueda crear con TinkerCAD que uno creado en Revit o Sketchup, la cantidad de información es crucial a la hora de crear protocolos como detener la máquina para poner tuberías, tener en cuenta el material a utilizar según transmitancias o los grosores, y huecos de la pieza.

El resultado final está ligado al proceso de impresión, que puede conllevar soluciones distintas a problemas similares, como puede ser la posibilidad de crear soportes de distinto material si tiene varias boquillas o no, y la dimensión y orientación de la pieza dependiendo de si se imprime in situ o se prefabrica; o incluso acarrear

problemas distintos con el mismo proceso, como puede ser que una máquina de ejes cartesianos produzca unos errores de vibración en la superficie de la pieza que las delta no tienen.

Todos estos detalles y parámetros, deberán ser estudiados para que el diseñador o diseñadores, ajusten sus diseños antes de ser impresos, desde los programas utilizados hasta la maquinaria final.

## 8.2. MATERIALES

Los materiales principales son morteros, cementos y hormigones en el uso de modelos estructurales, yesos, escayolas y cerámicos en los decorativos, y metálicos en estructurales y de armado.

La viscosidad, densidad y capacidad de auto compactación son unas de las características principales de los morteros cementos y hormigones a la hora de su puesta en obra. El hormigón dispondrá de un límite para el tamaño de la grava dependiendo de la boquilla, para evitar obstrucciones.

En los yesos y escayolas la precisión es lo más importante, por la cantidad de detalle que se puede llegar a alcanzar. Además, también se propone la puesta directa en paramentos verticales así que tiene que ser capaz de mantener la posición en la que se proyecta. Lo que conlleva a una boquilla más pequeña y una velocidad menor para una puesta en obra más controlada, además de la inclusión de tiempos de espera entre capas para promover el fraguado de las mismas que otorgará la resistencia necesaria para soportar la siguiente capa. La inclusión de varias boquillas puede ser interesante para limpiar o humedecer el medio donde se van a depositar las pastas.

Los metálicos pueden ser producidos en el sitio, como el puente de Ámsterdam, o ser prefabricados para ello. El sistema de DED, por ejemplo, nos permite incluir robots que impriman en el momento de construcción de la obra, así como la creación de superficies detalladas o estructuras más complejas en fábricas.

Por el momento, ninguna empresa ha revelado la composición con la que están experimentando o con la que están imprimiendo, y dado a que cada una producirá su máquina, seguramente limiten el material al producido por la misma empresa.

Se está experimentando con resinas y fibras, con ceras y con material como el polvo lunar. Hasta el momento poco se sabe de los materiales que se van a usar en la construcción, pero parece ser que todo material puede ser susceptible de ser impreso.

## 8.3. LIMITACIONES

La primera y más importante viene dada por las dimensiones de impresión, que es limitada por la impresora, pero que se puede solucionar haciendo el edificio por módulos y ensamblándolos con una grúa o construyendo una impresora más grande o móvil.

La segunda viene por el material, que nos lo limita la máquina y la boquilla, tanto por el tamaño del árido, densidad y necesidad de que se soporte a sí mismo. Hay materiales que se pueden imprimir más rápido y otros que deben ser impresos más despacio, unos que requieren boquillas grandes y otros que requieren boquillas más pequeñas, los motores y las máquinas dependen también de la finalidad, ya sea móvil y se requiera más pequeña o motores más potentes para llevar el bombeo a ciertas alturas.

La tercera viene por las instalaciones, un proceso complejo, que requiere la previsión de añadirlas durante o después de la impresión. Una solución es detener la máquina a ciertas alturas para ir colocando cada uno de los tubos o cables, otra solución puede ser la previsión de huecos que se puedan rellenar y tapar con el edificio terminado.

Una de las limitaciones más importantes es la diversidad de materiales en una obra, y que no todos ellos son imprimibles. Por ejemplo, para instalar una ventana lo único que se puede hacer es dejar el hueco e instalarla posteriormente. Las vigas o viguetas pueden ser impresas, pero para garantizar la resistencia y estabilidad lo mejor es colocarlas prefabricadas. Objetos cerámicos como los azulejos también se pueden colocar en obra con robots, pero tampoco pueden ser impresos dado el complejo proceso de horneado. Plásticos y pequeños detalles pueden ser impresos con otras impresoras más pequeñas, aunque según la pieza, los sistemas tradicionales como la inyección sean más económicos.

A pesar de que algún robot ya coloca ladrillos en un muro con el mortero incluido, aun no hay ninguno que coloque las tejas, o que se encargue de realizar el aislamiento de la cubierta, o de la instalación de embaldosado en el interior, o incluso la corrección de pequeños desperfectos que en última instancia han de ser arreglados a mano, como pequeños huecos, golpes, roces y manchas. Así que por muy avanzada que esté esta tecnología, siempre se va a necesitar mano de obra humana para poder obtener un resultado óptimo.

Otro de los límites es la colocación de electrodomésticos o sanitarios, que han de ser puestos manualmente. Por supuesto, las terminaciones o los pequeños acabados

como los interruptores, enchufes, sellado de juntas de sanitarios y demás siguen siendo enteramente colocados por personal humano.

Por ahora no se puede imprimir el 100% de la obra, sino que se puede imprimir la parte más grande y repetitiva, pero siempre hace falta personal humano en la obra para llegar ahí donde las máquinas no pueden.

## 8.4. PUESTA EN OBRA

Los dos modelos enfrentados ahora mismo son el prefabricado e in situ.

El modelo de impresión prefabricada conlleva el sobrecargo de transporte y el tener que dividir el edificio en piezas que posteriormente serán unidas, pero la ventaja de utilizar una sola máquina para todas construcciones y la conformación de piezas en un ambiente controlado.

El modelo de impresión in situ, tiene la problemática de la instalación previa de la impresora, pero una vez simplificado el montaje, que sería similar a colocar una grúa en la obra. Se haría desde cero hasta el techo todo a pie de obra, incluso dando pie a la fabricación de en serie, con la disposición de unos railes para el movimiento de la máquina o usando maquinaria móvil. Las desventajas principales son la adecuación del terreno y la adecuación al ambiente, que puede ser frío, cálido, húmedo y seco, afectando tanto al tiempo como a la forma de impresión.

Los dos sistemas compiten, pero ninguno es mejor que el otro, simplemente son dos soluciones distintas que se adoptan según las necesidades de cada obra, al igual que en la construcción convencional.

## 8.5. ESTRUCTURA Y RESISTENCIA

Lo primero que se piensa es en la resistencia, si será más resistente que la construcción convencional, si será mayor o menor y en que nos limitará en que campos usar esta técnica.

La respuesta correcta es que será igual o incluso más resistente y duradera que la tradicional. El control más exhaustivo en la mezcla y puesta en obra, se traduce en una pasta mucho más homogénea, con menos problemas de impurezas u oclusiones de aire y de la cual, se deberían de extraer probetas que dieran resistencias similares. En algunos de los ejemplos mostrados, los edificios llegaban a ser de 5 plantas, y otros capaces de soportar seísmos de 8 y 9 en la escala Richter.

La estructura no tiene que limitarse a ser solamente de hormigón, sino que se le puede añadir estructura metálica en el interior, creando una configuración similar al hormigón armado convencional.

Hay diversos modos de como incorporar la armadura ya sea dejando huecos y posteriormente incluirla y rellenar, incluyéndola en el interior de la misma construcción del muro, o incluso pretensándolo si es prefabricado.

En definitiva, la resistencia no solo puede ser la misma, sino que se puede aumentar debido un control más detallado del material.

## 8.6. ACABADOS

Los acabados principales que se proponen son el dejar el material visto, mostrando el capeado del muro, o aplacado, ocultando el muro tras unas placas decorativas de PYL o cerámicos, o cubrirlas con otros materiales como yesos o morteros, pero si se quiere dejar al descubierto también se pueden pintar para protegerlo de humedades y erosiones.

Dependiendo de la boquilla se pueden dejar unos acabados rugosos y otros totalmente lisos, o incluso con formas en relieve o curvas.

Sobre ellas también se pueden colocar aplacados decorativos en yeso, piedra, maderas o cerámicos. Una vez la pasta sea resistente, se puede taladrar para poner los amarres como cualquier otro muro.

## 8.7. EJEMPLOS

En este proyecto, he querido poner en a prueba la construcción con impresoras, y he creado varios modelos con distintos programas, siguiendo distintos procesos para mostrar lo sencillo que puede llegar a ser éste método. Para ello he diseñado varios modelos y he impreso otros gratuitos de internet para mostrar las capacidades y las limitaciones de la técnica.

Lo que se pretende extraer de estos ejemplos es además de la visualización de los modelos, es la formulación de un proceso con pasos a seguir, de un modo explicativo con una impresora 3D de plástico.

Cabe destacar que los muebles han sido extraídos de la comunidad [Thingiverse](https://www.thingiverse.com/) exceptuando cierto mobiliario creado por mi o por los programas como Revit que los tiene incluidos en familias,

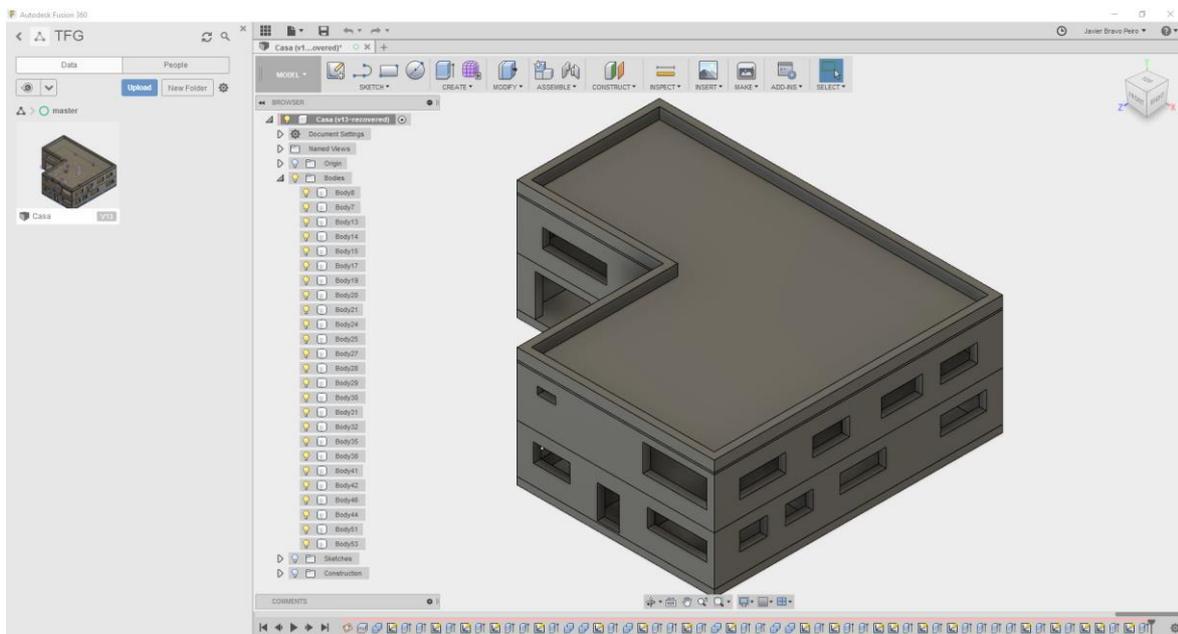
### 8.7.1. Proyecto Fusion 360

El primer proyecto se ha llevado a cabo con la utilización del programa de Autodesk Fusion 360, para la creación de un modelo de nuestro edificio con los muros, suelos, techos y particiones. Todos ellos han sido diseñados para que, impresos como una maqueta, encajen las plantas superiores e inferiores

Este modelo está pensado para mostrar una maqueta de un edificio con particiones separadas de los muros exteriores. El objetivo es rediseñar el tamaño y el espacio interior de un edificio en fase de proyecto.

La cantidad de detalle del modelo, dependerá del diseñador o diseñadores, que pueden hacer una forma básica para entender las dimensiones, o de un modelo mucho más detallado que permita visualizar hasta el mobiliario.

Mi modelo está configurado en dos plantas, de las cuales la segunda se puede sustituir por el tejado si solo se requiere una sola. El diseño específico para los techos y suelos permite que encajen durante el montaje de la maqueta. Las escaleras están diseñadas para ser puestas en el caso de dos plantas, o ser sustituidas por una habitación en el caso de una sola planta. Las particiones interiores están separadas de los muros por lo que pueden ser reconfigurados, así como el mobiliario que sirven para la construcción visual de espacios comunes.

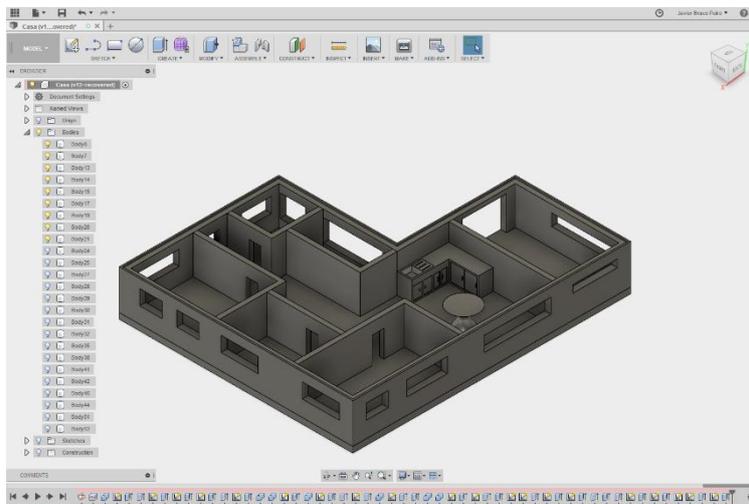


*Fusion 1 - Modelo completo*

En la ilustración de Fusion 1 podemos observar un modelo generado con Fusion 360, en el cual, las particiones, las plantas, escaleras y muros, así como suelos y techados han sido divididos en cuerpos distintos para ser impresos por separado.

Dado que este modelo ha sido creado con la función de servir de maqueta para el planteamiento de espacios, todas las piezas interiores están separadas, así como las plantas para configurar más adelante el edificio. Ya que será una maqueta, no se han tenido en cuenta detalles demasiado minuciosos, pero si se presenta con unos muebles que ayudarán a la comprensión del espacio.

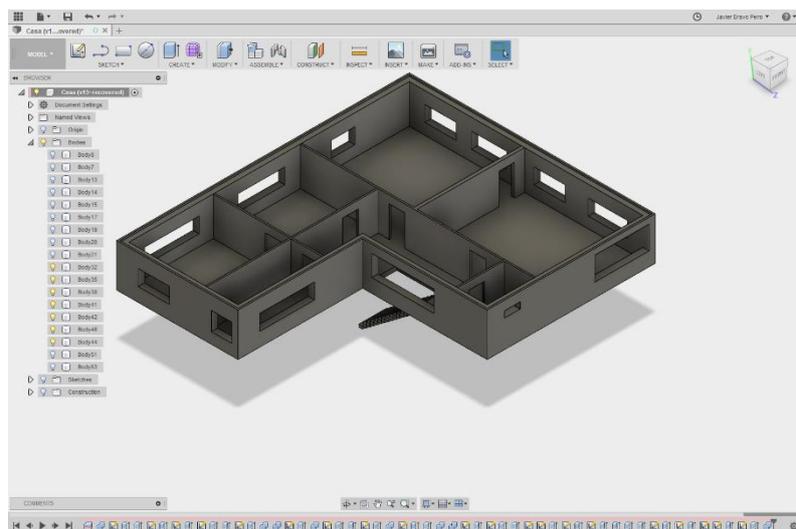
Parte del mobiliario es obra personal como una mesa y la encimera, pero el resto de muebles que se presentarán son obra de [Laura Taalman](#), una profesora de Brooklyn muy activa en la comunidad de los makers (diseñadores y artistas, luego este término es desarrollado por su importancia en el mundo de la impresión 3D).



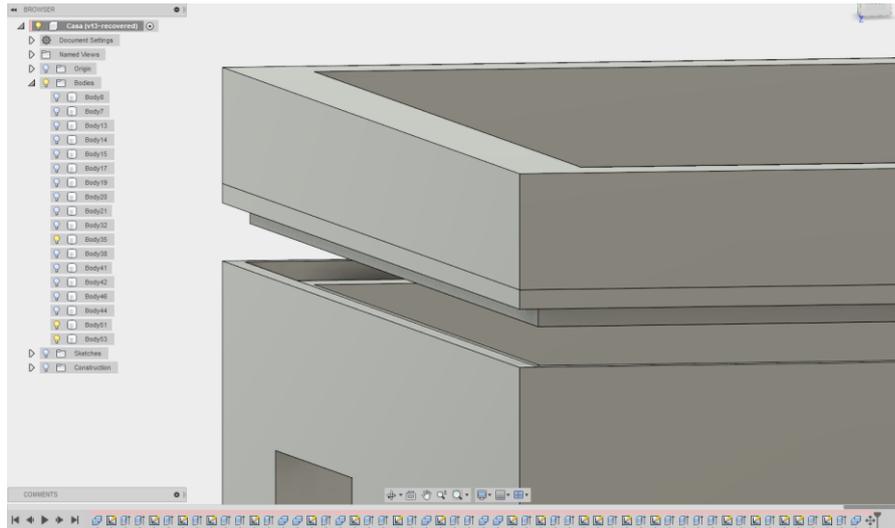
*Fusion 2 - Planta Baja*

En la figura Fusion 2, se puede observar la configuración de la primera planta. Con un garaje, una cocina y las particiones para habitaciones interiores. La habitación que hay a la izquierda de lo que sería el fregadero en la imagen, es sustituible por unas escaleras en caso de querer ampliarla a dos pisos.

En la figura Fusion 3, se muestra la Planta Primera, o superior, la cual se muestra la situación de las escaleras y las demás particiones interiores, que al igual que la planta baja, son completamente retirables.



*Fusion 3 - Planta 1*



*Fusion 4 - Detalle*

anteriores.

Lo que hay que tener en cuenta es que Fusion, no deja exportar un modelo a STL, sino que te lo manda directamente a un programa secundario donde puedas trabajar con el STL. En caso de querer guardar el STL, podríamos pasarlo a un programa de la familia de Autodesk llamado Meshmixer, que permite editar el objeto, o si lo tenemos claro, enviarlo directamente al laminador como puede ser Cura y solo guardar el archivo GCODE.

## 8.7.2. Proyecto Revit

El segundo proyecto está realizado con otro programa de Autodesk, Revit. En él, se ha diseñado un edificio para mostrar, como cualquier proyecto, o característica puede ser susceptible de ser exportada en un modelo 3D.

Para mostrar la gran capacidad de este programa, hay que decir que se puede exportar todo el edificio, por plantas, secciones, detalles que necesitan ser revisados, instalaciones y todos elementos que en definitiva estén diseñados en el proyecto. Por lo cual, cuanto más completo sea el proyecto, mucho más precisos podremos ser a la hora de imprimir.

En mi caso, he diseñado un edificio de 3 plantas, con un agregado de un nivel en el lateral izquierdo del edificio que puede servir de taller o almacén.

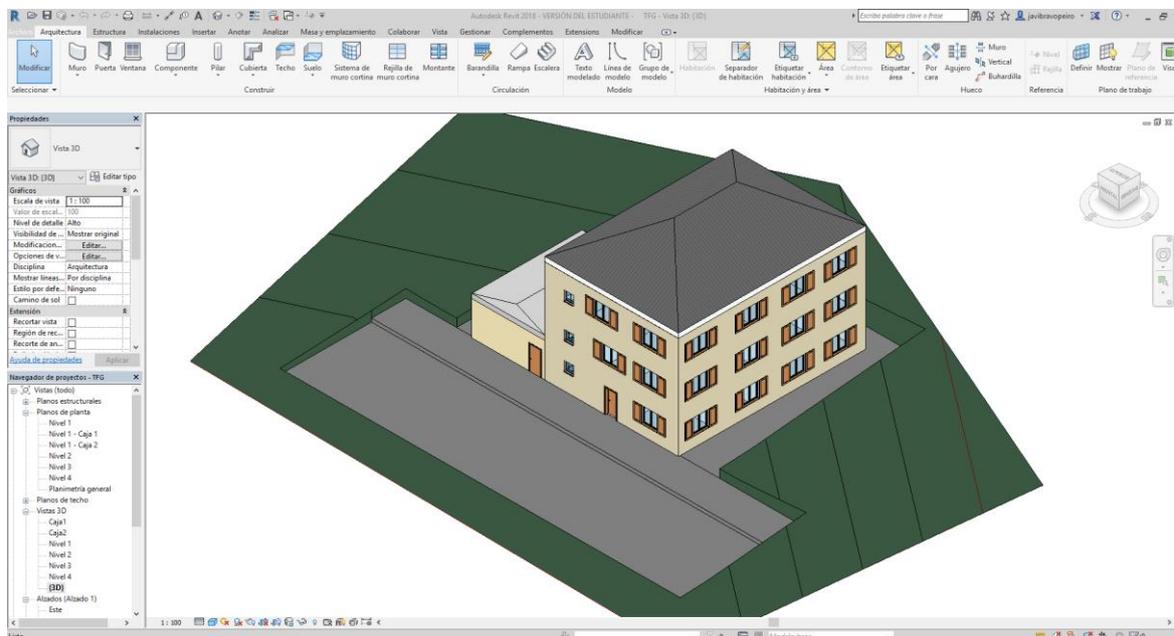
A la hora de imprimir, he separado el modelo en los tres niveles principales y el tejado, además he realizado alguna sección para ver con más detalle las escaleras y una de las esquinas.

Algo muy a tener en cuenta si más adelante se piensa imprimir este modelo sería plantear como queremos que el suelo sea conseguido. Puede que un brazo o un acople

Puesto que en estas imágenes es difícil de mostrar, en la figura Fusion 4, se ha hecho una captura de como es el encaje de la cubierta con cualquiera de las partes superiores de las plantas

nos deposite viguetas, puede que pausemos por niveles, encofremos y sigamos imprimiendo, o incluso que sea impreso por partes y transportado a modo de bloques.

En la figura Revit 1, se muestra una ilustración 3D de la edificación que he planteado a fin de ejemplificar el proceso que podríamos llevar a cabo.



### Revit 1 - General

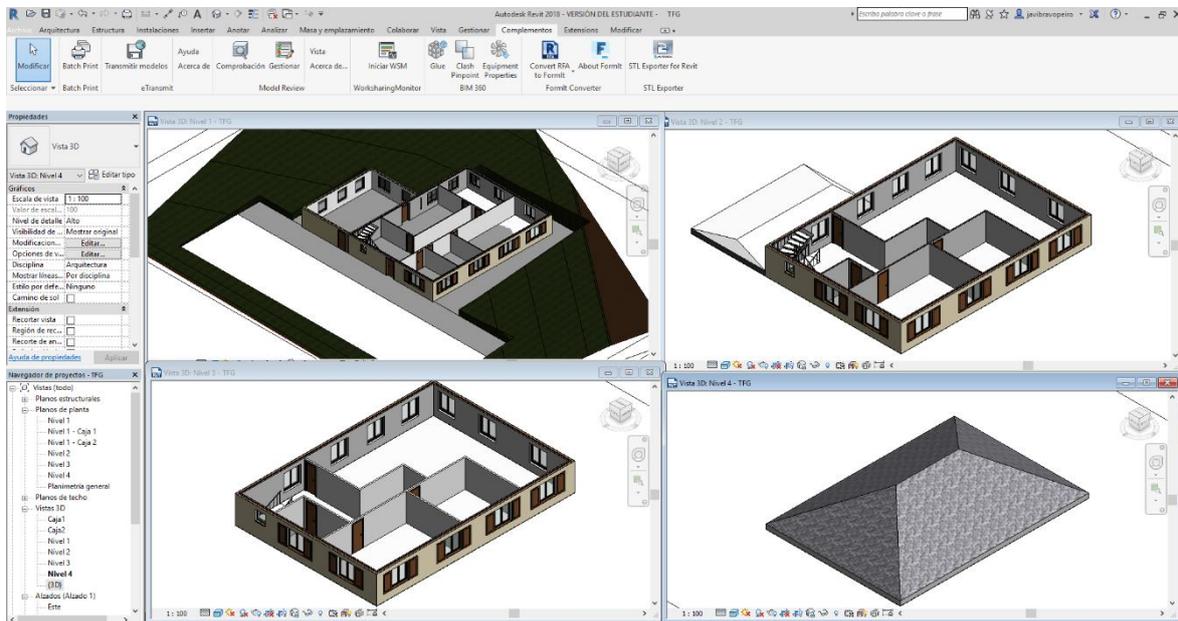
En este ejemplo no he incluido instalaciones ya que es para demostrar el método de trabajo que hemos de seguir. Pero como veremos, cualquier instalación puede ser exportada, desde saneamiento, eléctrica hasta telecomunicaciones, todo ello con el fin de prever los huecos a dejar para el paso de las mismas.

Lo primero a saber antes de exportar es que necesitaremos tantas vistas 3D como modelos queramos exportar para realizar el trabajo de manera más cómoda. El programa exporta el modelo que tengas activo en 3D, o si te encuentras en una vista de planta, todo aquello que se encuentre en la vista. Además, si ocultamos algún elemento, como puede ser una ventana, una puerta, o parte del mobiliario, no será exportado.

Si queremos el edificio completo de una sola impresión, un modelo como el de Revit 1, sería perfecto. En nuestro caso, voy a imprimir cada nivel por secciones para mostrar los espacios internos en una maqueta de PLA.

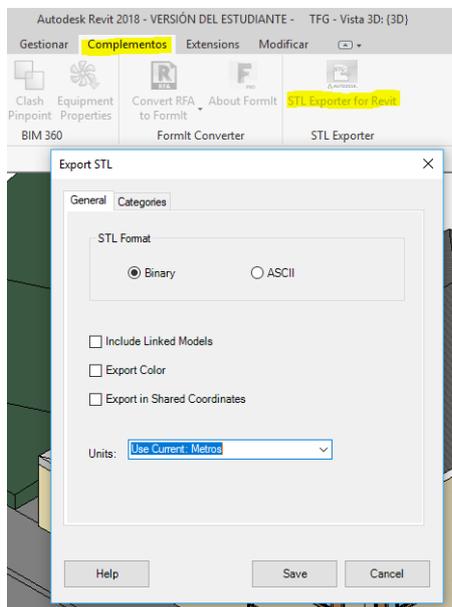
En la ilustración Revit 2 se muestran la Planta Baja, Primera, Segunda y Cubierta por cada uno de sus niveles correspondientes. Y si queremos que cada una de ellas sea impresa por separado, tendremos que almacenarlas en distintos modelos 3D y por lo tanto exportarlas una a una.

Desde la versión 2015 de Revit, se instaló un complemento con el programa que le añade la funcionalidad de extraer un molde STL de la vista 3D en la que estemos.



*Revit 2 - Multinivel*

Esta funcionalidad por sí misma es muy potente, si conoces que quieres transferir al modelo. Si vamos a la pestaña de complementos y clicamos en la parte de "STL exporter", podemos apreciar un menú como el siguiente que nos dará varias opciones.



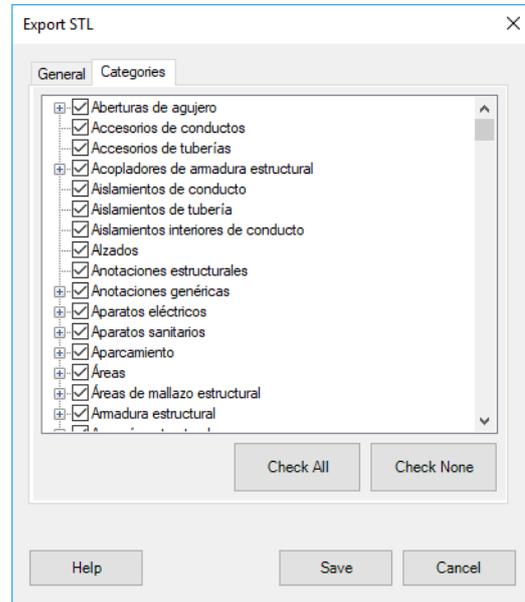
*Revit 3 - STL General*

En la pestaña general de la figura Revit 3, se nos indica primero el formato de escritura del STL Binario o ASCII, el segundo suele contener más información y por lo tanto suele ser más pesado por lo que utilizaremos normalmente Binario, ya que ocupa menos y a la hora de trabajarlo en el laminador nos dará menores problemas de rendimiento.

Nos da también las posibilidades de incluir modelos enlazados, con lo que podremos imprimir desde modelos referidos, siempre y cuando estén incluidos en el mismo proyecto. La posibilidad de incluir color, con los que podremos diferenciar distintos materiales si tenemos una maquina preparada para multiextrusión. La relación de coordenadas entre distintos modelos del mismo proyecto, que permiten mantener la relación de distancia entre distintos modelos como puede ser una topografía en .dwg y el o los modelos. Y por último las unidades

que nos permite mantener o cambiar las unidades en las que queremos que sea exportado nuestro proyecto.

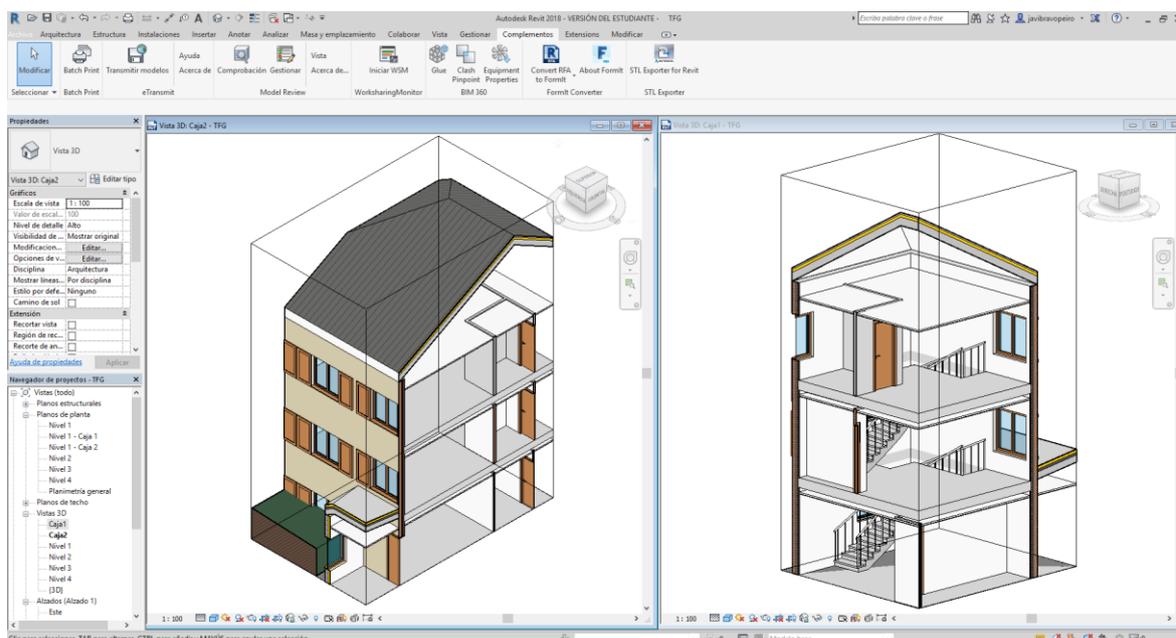
En la imagen Revit 4, se nos muestra una lista de categorías, y éste es el verdadero potencial a la hora de exportar, ya que nos permite elegir qué elementos queremos que sean exportados. Un ejemplo del uso es desmarcar todo y solo dejar los muros si nuestra impresora solo pudiera crear los muros, marcar los suelos si queremos un modelo de la base a la hora de imprimir la cimentación, marcar carpinterías y elementos más generales para hacer maquetas o incluso marcar las instalaciones para la previsión en obra.



Revit 4 - STL Categoría

Esta función permite que arquitectos de todo el mundo no solo sean capaces de producir maquetas con un clic, sino que conceptos como el Contour Crafting, o la Manufacturación Aditiva puedan ser una realidad en cualquier proyecto.

Otra gran función es la representación física de recortes de las edificaciones, para mostrar, por ejemplo, en una clase, las secciones de los elementos constructivos complejos, o zonas más diminutas de las maquetas hacerlas más visibles.

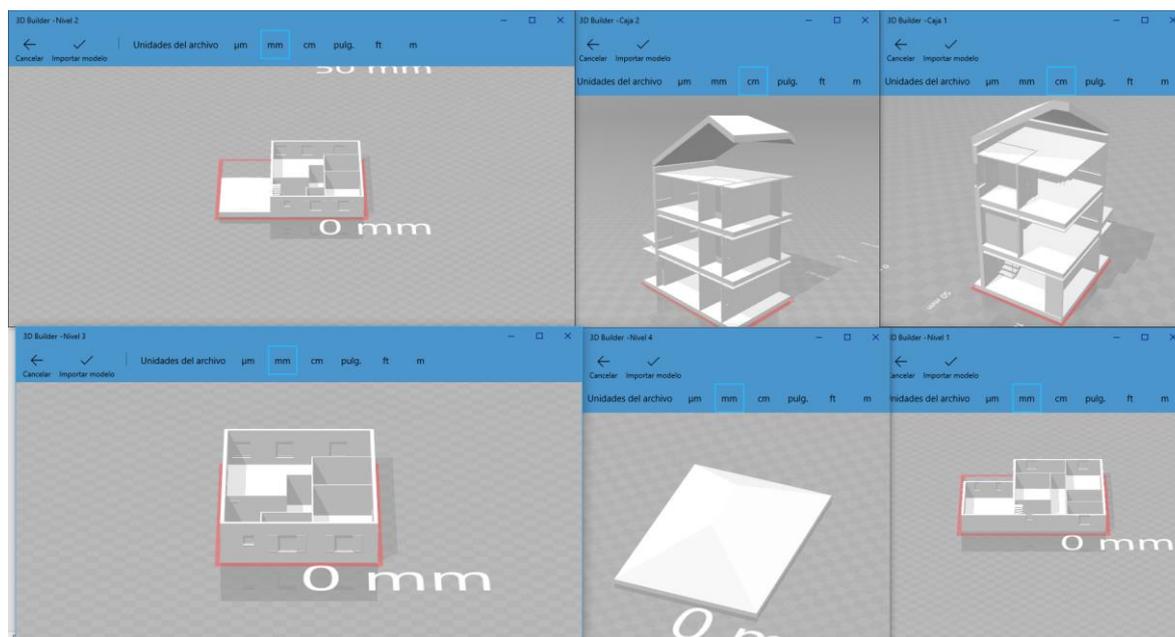


Revit 5 - Cajas de sección

En la imagen Revit 5 se pueden apreciar detalles como el de la escalera, la unión con el taller, las particiones interiores o incluso el desmante del terreno que hay que hacer.

### 8.7.3. Laminado

El modelo en STL o OBJ por sí mismo no puede ser impreso sin antes haber sido laminado. El laminado es un proceso por el cual, el objeto en 3D, es cortado por capas y donde se crean los patrones a seguir para conformar la pieza solida final.

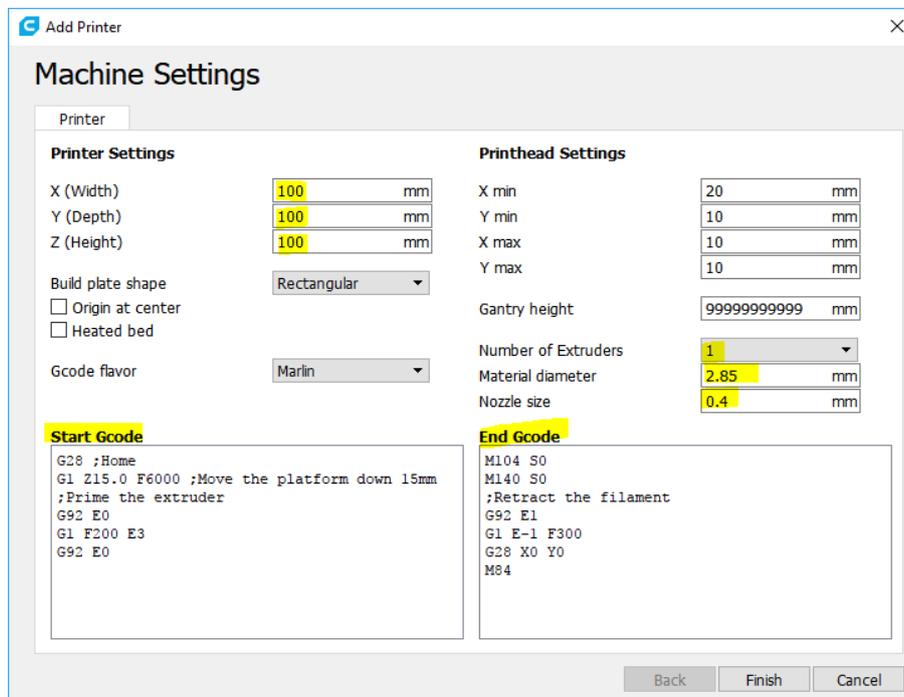


*Ilustración 94 - Modelos*

El laminado puede conferirse a través de muchos programas, desde gratuitos como Cura o Slic3r, hasta otros más avanzados y de pago como Simplify3D. Los programas pueden variar en ciertas funciones específicas o un soporte técnico especializado, pero si el diseñador conoce bien el programa, puede conseguir resultados perfectos con cualquiera de los programas llamados "laminadores".

En el laminado generamos un archivo GCODE, que contiene información de que movimientos ha de realizar la máquina para crear la figura, como puntos de coordenadas, velocidades, cantidad de extrusión, control de temperatura y humedad, elevación del extrusor, etc.

Es aquí donde tendremos que configurar nuestra máquina, configurando los parámetros de superficie de construcción (límites de movimiento en los ejes X, Y y Z) o el tamaño de la boquilla, que venga probablemente determinado por el tamaño máximo del árido que queramos extruir.



*Ilustración 95 - Perfil de la máquina*

Tendremos que delimitar los tamaños máximos de nuestra impresora, si tiene el origen en el centro o en una esquina, la cantidad de extrusores, el diámetro de entrada y el diámetro de salida del extrusor.

En el Gcode de inicio podemos hacer que limpie la boquilla expulsando una línea de pasta antes de empezar a imprimir, y en el script del final podemos hacer que regrese a una posición segura alejada de la pieza.

Una vez generado el perfil de nuestra impresora, el siguiente paso es configurar la impresión por lo que tendremos que tener en cuenta:

- La orientación del modelo: si conviene hacerlo en horizontal o en vertical según las cargas que vaya a resistir.
- La altura de capa: la definición de la pieza influye en el tiempo de impresión de la pieza, pues si la velocidad es la misma, una altura de capa de 1cm tardará el doble que una de 2cm.
- La velocidad: puede que si nuestra pasta es suficientemente fluida nos permita imprimir más velozmente, pero si la consistencia es mayor, la velocidad deberá ser menor para evitar dejar huecos y permitir un flujo constante.

## Proyectos

- Los soportes: en caso de ser necesarios plantear la situación y el tamaño y densidad de los mismos.
- El tamaño: el cual ajustaremos según la escala que queramos imprimir.
- El relleno: si es sólido un 100% o el porcentaje que estimemos necesario.

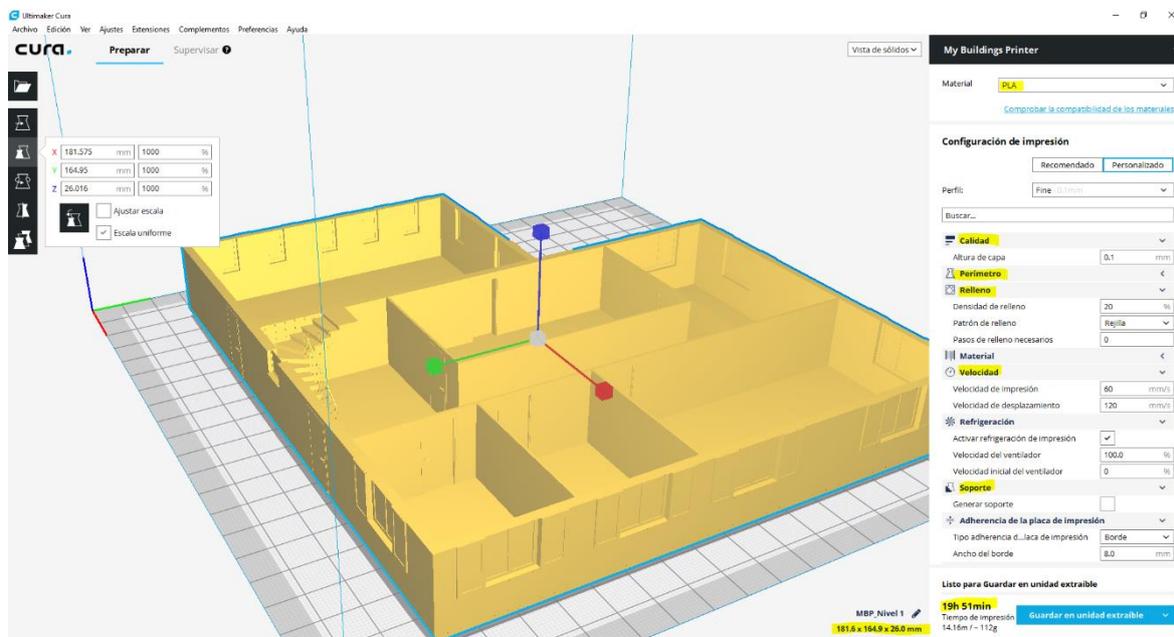


Ilustración 96 - Cura Ejemplo

El programa laminará nuestro objeto según tengamos configurado el perfil. Podemos crear varios perfiles para distintos tipos de impresión, desde más detallada a más rápida.

### 8.7.4. Post-procesado

Podemos definir así al proceso de limpieza de las maquetas, lijado y pintado de las mismas, al igual que en un edificio después se puede pintar, aplacar cortar sobrantes, etc.

Aunque es un proceso auxiliar, sirve para darle esa terminación fina a todo aquello que imprimamos, llegando allí donde una impresora 3D no puede llegar.

## 9. TESTES

Antes de empezar a imprimir, siempre se deben de realizar unas piezas de prueba, que nos dirán si la máquina esta calibrada, tensada y en general preparada para imprimir, o si por el contrario se deben de realizar ajustes para conseguir una impresión óptima.

Ya sea impresión in situ, o prefabricada, siempre habrán de realizarse pruebas de verificación previas. La diferencia es que en las maquinas que ejecuten en obra, se harán cada vez que se muevan o manipulen, y en las de construcción de prefabricados, con una primera calibración y posteriores calibraciones periódicas será suficiente. Las calibraciones periódicas dependerán de cada máquina, del uso y volumen de impresión de la misma. Pudiendo variar entre varias veces por semana hasta una cada varios meses.

Todos los modelos han sido extraídos de Thingiverse con licencia Creative Commons, y los enlaces a cada una de las piezas fotografiadas y usadas en la defensa están en la bibliografía agregadas.

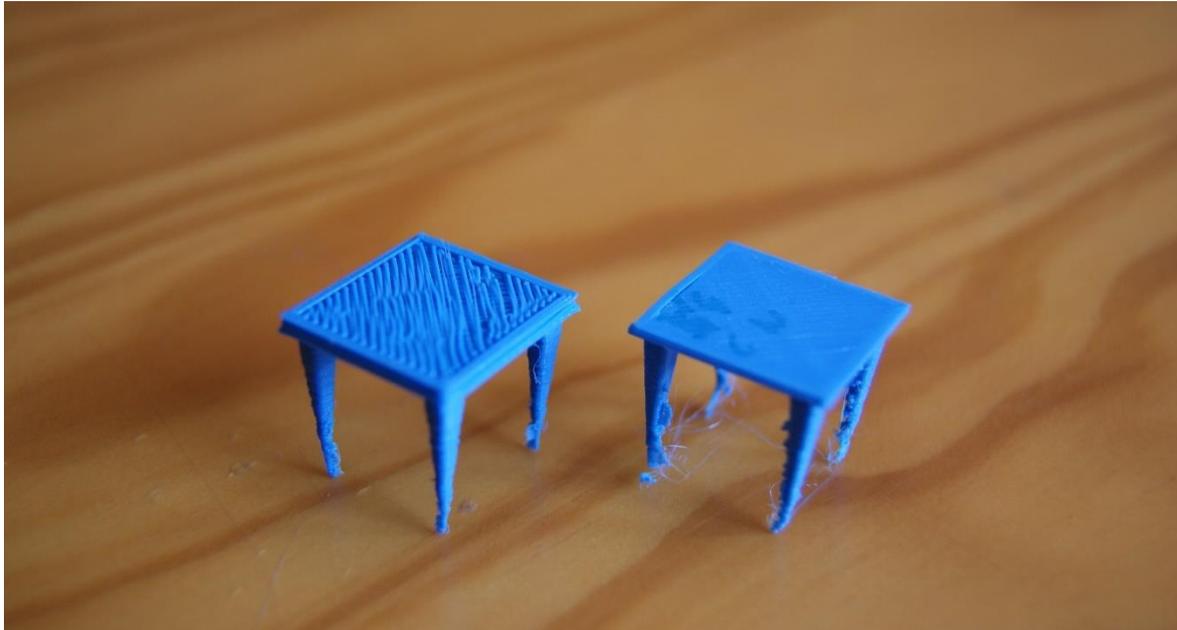
### 9.1. PRIMERA CAPA

La primera capa es la que va a transmitir las cargas al siguiente elemento y, ya sea la base, la cimentación o una estructura inferior, lo óptimo es que esté en contacto la mayor superficie posible.

Una primera capa con la boquilla muy baja conlleva un aumento de la presión en la punta, evitando que salga un flujo continuo, dando problemas de escasa impresión y sobreimpresión puntual cuando se libere de esa presión.

Por otro lado, una primera capa con la boquilla muy elevada conlleva a que la pasta cuelgue y no se deposite correctamente, dando como resultado una estructura filosa y no homogénea. En la imagen de Test 1, se puede observar como la pieza de la izquierda, que se ha impreso con una primera capa mal calibrada, da como resultado ese efecto de hilos.

Una máquina que este perfectamente calibrada tendrá como resultado una capa uniforme, sin huecos, que transmitirá las cargas perfectamente.



#### *Test 1 – Primera Capa*

La altura de la Z, o lo que es la altura de la boquilla en la primera capa viene dada como referencia de la altura de capa que se vaya a utilizar para la pieza. En la comunidad RepRap, se suele usar una primera capa del 70% de la altura de capa normal, para favorecer la adhesión de esta a la base, además de una minoración de la velocidad de impresión, al 60% de la media de impresión de la pieza en alturas normales.

Para calibrar esta altura se puede hacer midiendo manualmente, pero para evitar calibraciones constantes, se puede compensar con un calibrador automático, un sensor que reconoce la distancia al suelo, marcándola como inicio y ajustando las distintas alturas en el plano de impresión con la toma de puntos. Haciendo que la máquina se levante o baje en función de la necesidad del terreno.

## 9.2. DISTANCIAS RECORRIDAS

Una distancia en el modelo puede ser 10 metros exactos, pero a la hora de imprimir, la pieza puede que termine dando una longitud de 10 metros y 30 centímetros, o que no llegue a esos 10 metros.

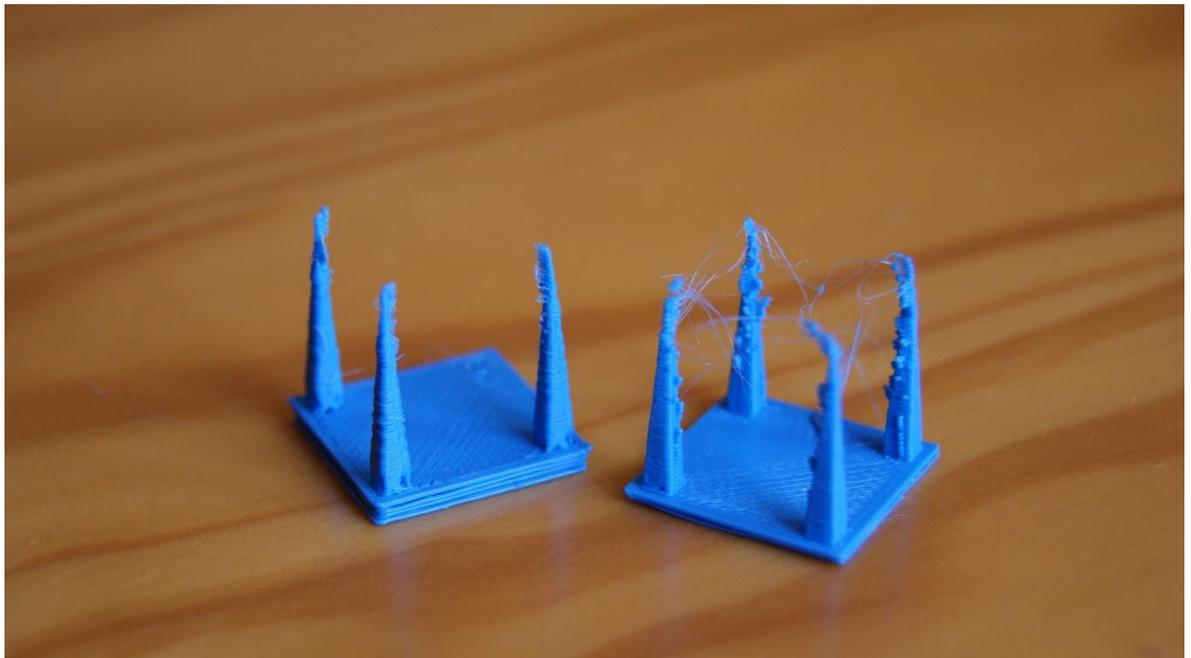
Es por eso que se suelen comprobar con cualquier pieza, la dimensión real que está imprimiendo para evitar que la máquina escale las figuras.

Uno de los testes más habituales es la impresión de un cubo, que sirve para medir las variaciones de dimensión en los 3 ejes de coordenadas.

## 9.3. PICOS

Uno de los problemas más comunes en la deposición de material extruido, es la generación de picos o puntas, que pueden resultar problemáticas si no se controla el flujo de la pasta, dando consigo piezas con pegotes y en las que se ha impreso más material del requerido.

Una prueba común es la creación de piezas con varias puntas, para controlar que, en todas direcciones, las puntas queden libres de pegotes y excesos.



*Test 2 - Picos*

En la prueba de la izquierda se pueden observar unas puntas prácticamente limpias, mientras que en la pieza de la derecha se observan pegotes en las puntas por el exceso de pasta, que rebosa por la punta durante el viaje del extrusor entre las piezas.

## 9.4. VOLADIZOS

Dependiendo de la consistencia del material que se vaya a imprimir, nos permitirá la impresión de ángulos más pronunciados, o curvas mayores que otros materiales.

Una prueba que se puede hacer para obtener una idea de a partir de que ángulo nuestra pasta "cae" o nos deja líneas muy marcadas puede ser uno similar al siguiente.



*Test 3 - Voladizos*



*Test 4 - Voladizos 2*

En el Test 3 y 4, se puede observar como capas con diferentes inclinaciones nos dan resultados muy distintos. Mientras

## 9.5. CONSISTENCIA

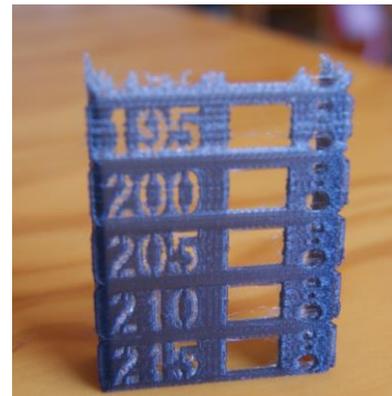
La consistencia del material con el que imprimimos es crucial, sobre todo si queremos seguir imprimiendo encima del mismo sin que se nos desmorone toda la estructura.

En los plásticos, lo que más afecta a la consistencia es la temperatura del material que estamos extruyendo, lo que en el caso de las pastas sería el agua o las proporciones de conglomerante.

Una torre de temperaturas puede ser útil para saber desde qué temperatura podemos extruir, y hasta cuál podemos hacerlo sin que la pasta sea demasiado blanda para soportar la siguiente capa. Todo esto afecta además a la definición, ya que una pasta con menor asentamiento dará una mayor fiabilidad en bordes y dimensiones.

En el caso de tener que hacer un test de morteros o cementos se pueden hacer varios tests previamente con el cono de Abrams o simplemente con la impresión de conos de pasta.

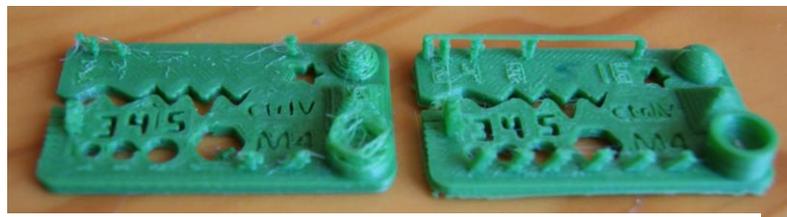
En el primer test tenemos una torre de temperaturas, donde se puede ver en qué momento la pasta está sólida y no es posible ser extruida. Esto afecta a la definición como hemos mencionado antes en la creación de círculos y puentes entre dos puntos.



Test 4 - Torre de temperaturas

## 9.6. DETALLES (FINO)

En las siguientes imágenes, se ha realizado un test de múltiples disciplinas, entre las que encontramos: realización de puentes sin soporte, curvas, esquinas, definición cóncava-convexa, hexágonos, torres de inclinación, texto en relieve y grosor de paredes y huecos. Esta pieza creada por la comunidad de impresión 3D, lleva en unos centímetros, gran cantidad de tests, que sirven para ajustar gran cantidad de parámetros, pero sobre los que destaca su utilidad para ajuste fino de la máquina y elaborar los detalles más complicados.



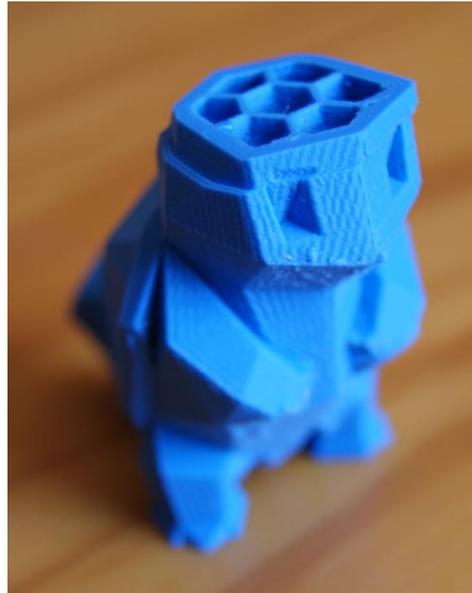
Test 5 - Detalles

## 9.7. VIBRACIONES

Las vibraciones durante el proceso de impresión nunca son buenas. Estas pueden venir de la máquina, como vibración transmitida de los motores, o del ambiente, desde

el movimiento de la base, golpe brusco, deslizamiento de tierras o incluso el más ligero terremoto pueden echar a perder gran parte de una impresión.

Las vibraciones se denotan en cualquier figura con la aparición del "ghosting" que es la representación de los bordes en la superficie plana contigua. En la siguiente imagen se puede ver la aparición de esas rayas en la superficie del personaje.



*Test 6 - Vibraciones*

Otra consecuencia de la vibración es que las correas de transmisión del movimiento, salten un diente y se produzca el desplazamiento del flujo de material, provocando un corte de la pieza como se ve en la parte superior.

## 9.8. RESISTENCIA

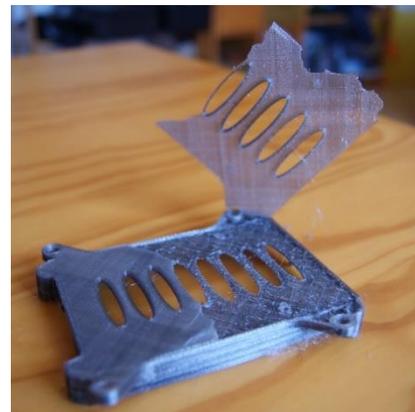
La resistencia del material es vital para el cálculo de cargas. Además de la naturaleza del propio material, también afecta el diseño de la pieza, la estructura interna, el número de capas externas y algo tan importante como es la dirección de impresión.

No es lo mismo imprimir una torre capa a capa, que tumbada de manera longitudinal y luego levantarla. Y lo mismo pasaría a la inversa con las jácenas.

Todo esto viene por la adhesión entre capas, si la fuerza es aplicada sobre capas puestas una encima de otra, cada capa transmitirá la carga a la siguiente, pero si esta laminada, esas mismas capas son puntos débiles de la estructura.

En otros casos, la cantidad de impresión puede dejar inestable una estructura aparentemente sólida.

El caso de la siguiente imagen hace ver la escasez en el relleno interno de una pieza, haciendo que sea poco resistente y se rompa y resquebraje al menor tirón.



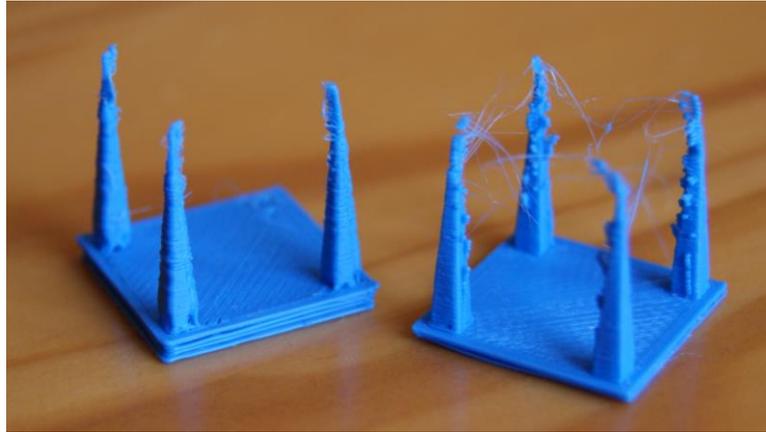
*Test 7 - Resistencia interna*



*Test 8 - Resistencia*

## 9.9. ACABADOS (OOZE)

El "Ooze" o más conocido en castellano como el "Goteo", se produce por una pasta excesivamente fluida, que gotea por la boquilla en los viajes de impresión. Estos viajes se producen en partes donde no hay que imprimir nada. Un test muy común es la impresión de pilares, y el objetivo principal es terminar con un objeto sin "pelitos" o "hilos" que vayan de una estructura a la siguiente. Todo esto se controla con parámetros como retracciones, aminorar la fluidez del material, y hacer un rodado de la cabeza donde acaba de imprimir para limpiarla de restos.



*Test 9 -Goteo*

## 10. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Todos problemas tienen una solución, lo único que tenemos que saber es porque se produce la falla y arreglarlo.

Hay tipos de problemas principales:

- **Mecánicos:** derivados de la máquina, como puede ser un motor averiado, unas correas de transmisión destensadas, calibración incorrecta, falta de lubricación, base inestable, extrusor obstruido, etc.
- **Diseño:** vienen dados por un diseño de la figura incorrecto, con superficies duplicadas, inestable en voladizos, o en definitiva, cualquier fallo derivado de la generación del modelo en 3D.
- **Parámetros de impresión:** son provocados por una configuración de impresión que no está adaptada al diseño en cuestión. Tan simples una velocidad excesiva, relleno insuficiente, soportes no generados, o el grosor de capa, pueden provocar que un gran diseño se convierta en un desastre a la hora de imprimirlo.
- **Ambientales:** la temperatura, un viento excesivo, un terreno con agentes que ataquen a la pasta, o excesiva humedad, son factores a tener en cuenta la hora de imprimir, para poder evitar cambios bruscos entre capas evitando que se peguen o que tengan distintas coloraciones o incluso lleguen a secarse. Una planificación previa es necesaria, ya sea poniendo cortinas alrededor para evitar temperaturas y cambios en el viento, así como calefactores o controladores de humedad según sea necesario.
- **Material:** la fluidez, la cantidad de finos o gruesos, la coloración, textura, tiempo de fraguado y la resistencia de la pieza entre otros, son controlados única y exclusivamente por la dosificación y calidad del material.

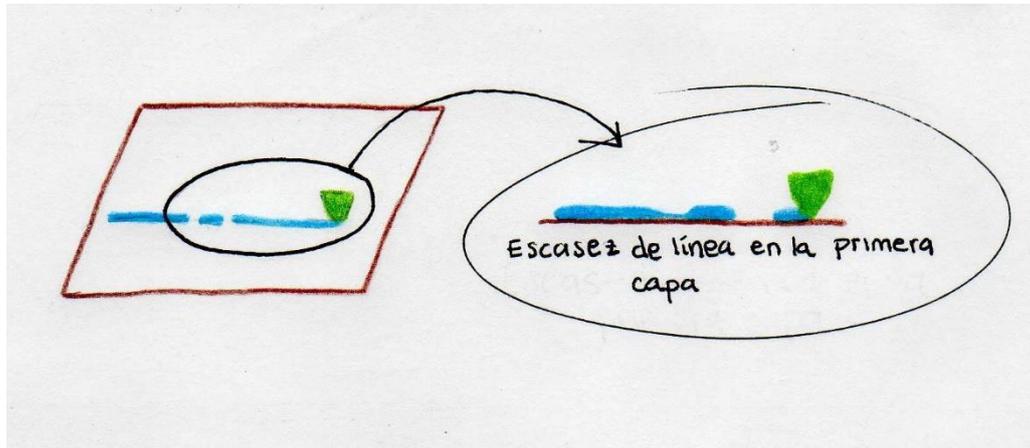
En cada uno de los problemas pueden afectar distintos agentes, y será necesario subsanarlos según sea conveniente.

### 10.1. ESCASEZ EN LA PRIMERA CAPA

Si al inicio de la impresión se observa que el hilo que va dejando tras de sí el extrusor no es uniforme, puede ser un fallo dado por el material o a un problema mecánico.

En lo que concierne a un problema mecánico, puede ser debido porque el extrusor está demasiado pegado a la base, lo que no deja salir un flujo de material constante.

Otra razón puede ser el material tapone la boquilla del extrusor, al menos parcialmente, provocando un flujo intermitente. Ese tapón puede ser dado también en el cuello previo al extrusor o incluso en la manguera que transporta el material.



*Problema 1 - Escasez en la primera capa*

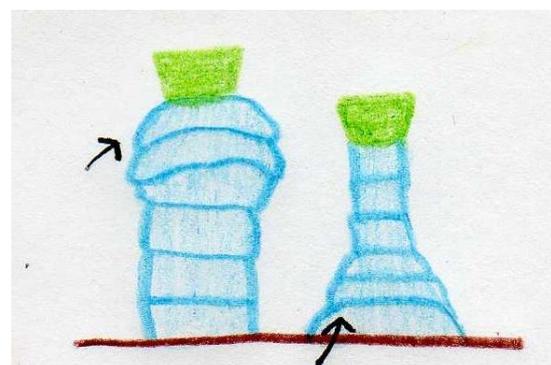
## 10.2. APLASTAMIENTO

Mientras unas capas se depositan sobre otras, las capas inferiores se van deformando. Puede ocurrir en las capas superiores y directamente tras la deposición del material, o en las más inferiores, tras la deposición de sucesivas capas por las cuales colapsan. Para este problema hay varias causas, de diseño, de material y de parámetros de impresión.

El material y el diseño de la impresión van de la mano, tanto que hay que tener en cuenta a qué altura detener la extrusión para que la pasta fragüe totalmente, o lo suficiente como para poder seguir imprimiendo sobre ella.

Otra causa proviene de extruir demasiado material sobre las capas haciendo que se aplasten y sobresalga el material por los lados.

Estos problemas se solventan fácilmente haciendo pruebas de consistencia para saber a qué altura detenerse, o controlando el "flow" o flujo de la pasta.



*Problema 2 - Aplastamiento*

## 10.3. CAMBIO DE COLORACIÓN

Un cambio de coloración en las capas suele ser dado por cambio del tipo de material o distintos tiempos de secado.

Si el problema es por una variación de la pasta, se debería controlar la composición y resistencia de ambos, para corroborar que son resistentes y comparten características.

La segunda no supone un problema porque proviene de la humedad del material mientras fragua, lo cual se solucionará al terminar de secarse toda la pasta.



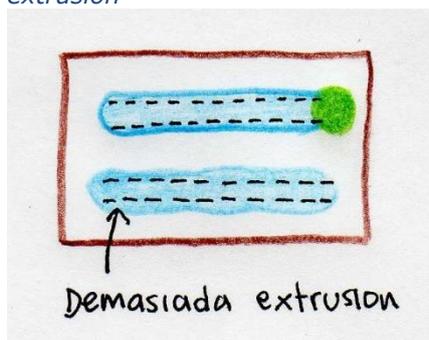
Problema 3 - Cambio de color

## 10.4. DEMASIADA EXTRUSIÓN O ESCASA EXTRUSIÓN

Cuando una línea es excesivamente delgada, gruesa o no tiene uniformidad, es por una variación de la extrusión. El material deberá tener una consistencia suficientemente plástica para poder ser extruido. Este problema puede ser de parámetros de impresión, mecánico o la combinación de ambos.



Problema 4 - Escasa extrusión



Problema 5 - Demasiada extrusión

En parámetros de impresión, el "flow" o flujo de impresión controla la cantidad de material que sale conforme el diámetro de la boquilla, si la salida de material es escasa se deberá de aumentar el flujo y si es excesiva habrá que reducirlo.

Mecánicamente puede ser que la boquilla este muy aplastada a la base en la primera capa, o que no tenga el diámetro preciso para la extrusión. Así mismo las mangueras puede que estén obstruidas o haya perdida de la presión en la máquina. Los cuales se solucionan alzando la boquilla y limpiando el mecanismo.

El problema combinado se produce cuando la boquilla tiene un diámetro y el calculado en el programa es otro, y se soluciona con el reajuste en el programa del nuevo diámetro o cambiando la boquilla a la prevista en proyecto si esta cambiada.

Además de todo esto tendrá que controlarse la consistencia y fluidez de la pasta, ya que muy seca produciría atascos y demasiado líquida se desparramaría.

## 10.5. EXTRUSIONADO NO UNIFORME



*Problema 6 - Extrusión no uniforme*

Este problema es meramente mecánico por obstrucción de los conductos por los que pasa el material, ya sea por falta de humedad en la pasta o por material solidificado dentro de la máquina.

Una adecuada limpieza de la máquina a cada fin de uso evita estos problemas.

## 10.6. FALTA DE ADHERENCIA

La adherencia es un problema en la pasta o en la superficie de impresión en la primera capa.

Si la falta de adherencia es entre capas, es porque el material está demasiado seco, y necesita plasticidad.

Si la adherencia solo es mala en la primera capa, el problema viene de la base, que puede que sea excesivamente polvorosa, seca, fría, esta mojada o incluso tenga restos de otro material, como puede ser aceite de lubricación que haya caído al suelo.



*Problema 8 - Falta de adherencia en capas*



*Problema 7 - Falta de adherencia con la base*

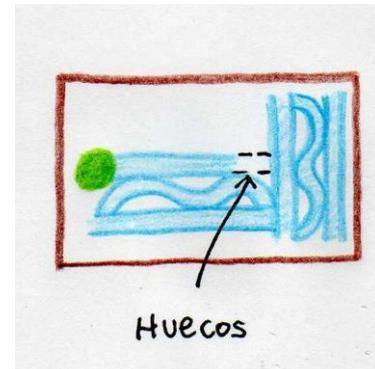
## 10.7. HUECOS

Los huecos son producidos o por fallo mecánico, o por fallo de parámetros de impresión.

En los producidos por fallo mecánico, entra la uniformidad de alimentado de material, los atascos, y burbujas en la mezcla.

Los producidos por parámetros de impresión, pueden ser por goteo durante el viaje de la boquilla, o una disminución de presión.

Todos son fácilmente comprobables y con un arreglo sencillo, inclusive el goteo, que puede ser previsto con una modificación en la boquilla para que la tape en el trayecto de un lado a otro de la pieza.



*Problema 9 - Huecos*

## 10.8. LEVANTAMIENTO DE ESQUINAS

El levantamiento de esquinas se produce por el exceso de depósito de material en los bordes y es un problema normalmente de los parámetros de impresión, pero puede venir dados por la misma máquina.

Esto sucede por la excesiva deposición de material en las esquinas, habitualmente creado por pausas en ese punto si es un punto final, o por la extrusión excesiva en los giros cortos.

Una máquina tiene que reaccionar suficientemente rápido para evitar que esto suceda, además de que, si es un problema conocido de la máquina, ha puede también ser subsanado con un diseño de procesado de los parámetros, haciendo que siga moviéndose una vez terminada la extrusión, o levantar la boquilla, o incluso llevarla a un punto neutro para vaciar el material que gotee.



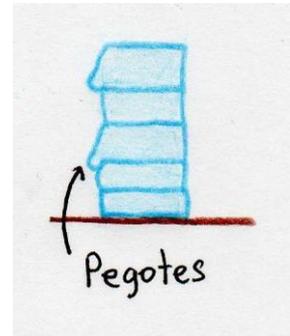
*Problema 10 - Levantamiento de esquinas*

## 10.9. PEGOTES

Los pegotes, son causados por el goteo en el viaje entre dos puntos separados por un espacio vacío. Este goteo viene provocado tanto por problemas mecánicos, como de parámetros de impresión.

Por parte mecánica, puede que la boquilla tenga algún defecto o la pasta este demasiado fluida y caiga durante el viaje entre una parte y otra.

También suelen aparecer en las máquinas de 2 boquillas, donde mientras la primera imprime, la segunda espera y gotea, y cuando la segunda va a imprimir, esa gota se queda pegada a uno de los laterales de la pieza.

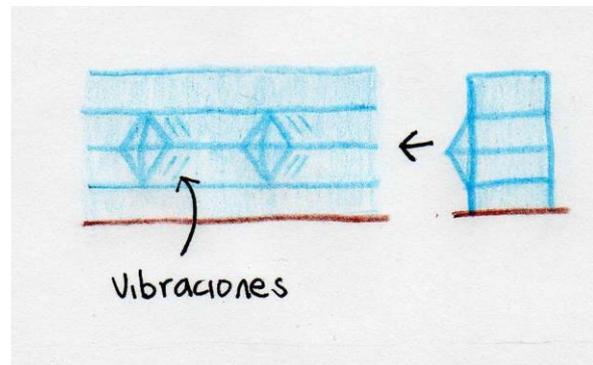


Problema 11 - Pegotes

## 10.10. VIBRACIONES

Las vibraciones son producidas por dos causas principales, o un fallo mecánico o un agente ambiental.

El primero es el más común, en el que una correa no está tensa, o uno de los ejes no está suficientemente tenso para ser preciso. Produciendo vibraciones que se traducen en movimientos laterales de rebote que generan esas vibraciones en las caras exteriores. Éstas vibraciones se mostrarán en el mismo sentido de la cara que esté poco tensa.



Problema 12 - Vibraciones

En el caso de ser un fallo ambiental, hay que protegerla de movimientos como el viento, o de ligeros seísmos que pueden desestabilizar la máquina.

## 10.11. GIRO DEL FILAMENTO

Un problema que solo aparece en las impresiones de pasta. Visto por primera vez en los edificios de WinSun, mas particularmente en las esquinas, donde el material en vez de ser uniforme, gira sobre sí mismo dando así una esquina con menor contacto entre capas y mas inestable.

Este fallo se produce cuando se produce un giro en la figura pero la cabeza no gira y la pasta está suficientemente densa como para mantener la forma de salida de la boquilla.

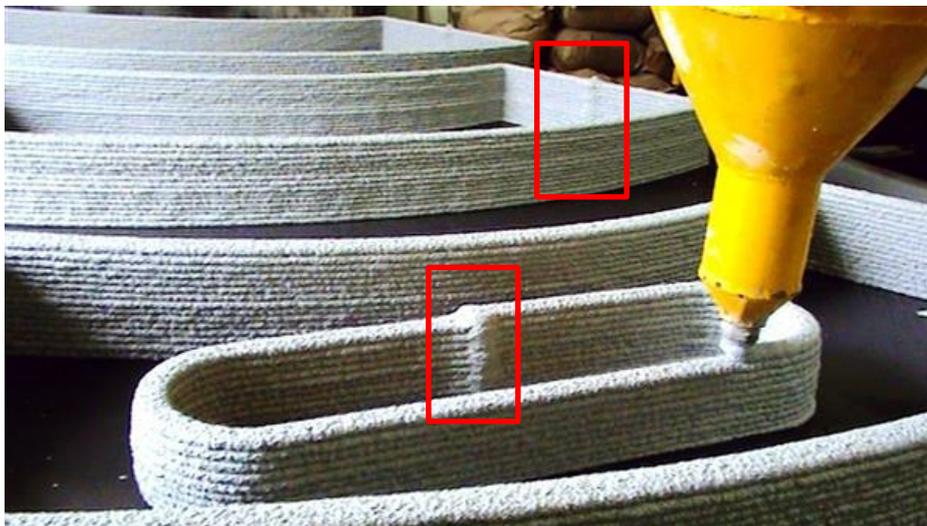
Encontramos el fallo mecánico si la boquilla no gira, y el fallo en el material si a la pasta le falta fluidez.



*Problema 13 - Giro del filamento*

## 10.12. CREMALLERA

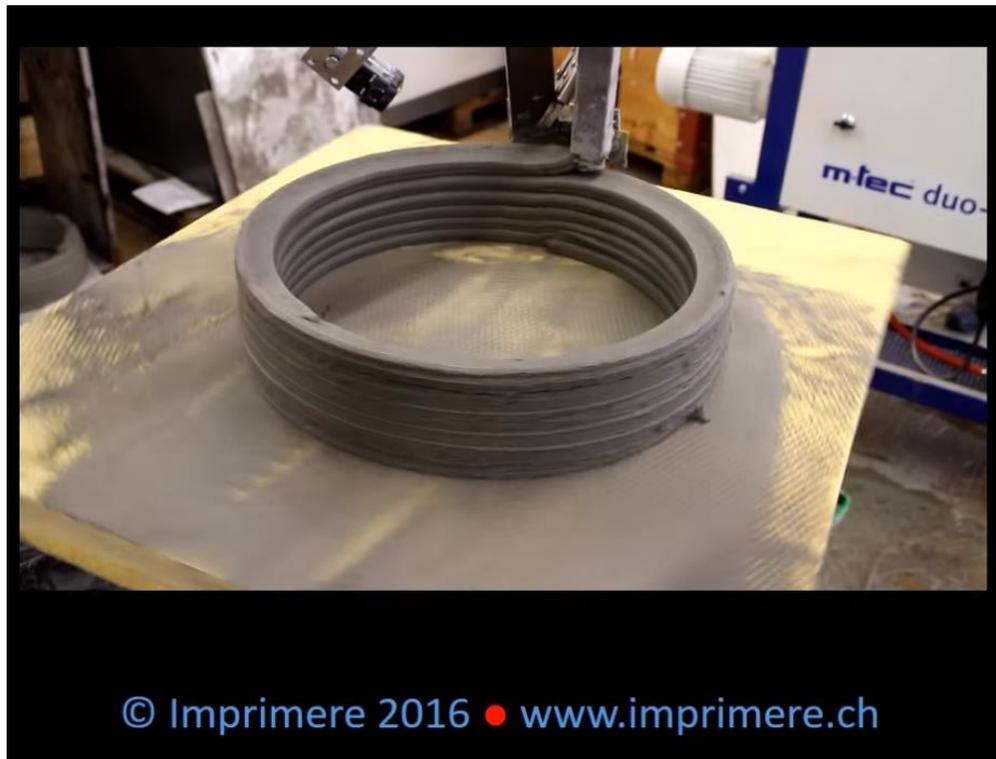
La cremallera se forma en el intercambio de una capa a otra, cuando la boquilla se alza ligeramente.



*Problema 14 - Pliegues*

Hay varias soluciones, para este problema, la primera es disminuir la presión en la boquilla para que no se marque tanto, y la otra es hacer que los puntos de comienzo de cada capa sean aleatorios, en ambos tendremos los mismos puntos, pero en los optimizados que empiezan por el mismo punto, se genera esa "Cremallera", que lejos de ser un problema físico es meramente estético.

Otra solución es hacer la figura en modo vaso, con la forma de una espiral.



### 10.13. DESLIZAMIENTO DE UNA CAPA

El deslizamiento de una capa se produce porque la máquina se ha saltado un diente o un paso de uno de los ejes.

Lo más común es que sea un fallo mecánico y se arregle calibrando los pasos de los motores, o de un movimiento brusco de la máquina, de la cual habrá que prestar atención a los viajes que hace para controlar las velocidades.



Problema 15 -  
Deslizamiento

### 10.14. PARO DURANTE EXTRUSIÓN

El paro de la máquina durante una impresión puede generar pérdidas considerables si luego no se puede reutilizar.

Uno de los fallos más comunes es mecánico y es por un corte de luz, que se arregla teniendo tu propio generador.

También puede ser por falta de material, que si se reanuda y continúa desde el mismo punto poco después no tiene por qué ser un problema mayor.

## 11. OBSERVACIONES

Ya sabemos que tipos de variantes hay en la impresión 3D y algunos de los proyectos y avances más importantes en el sector.

Ahora toca centrar la atención en lo realmente innovador, aquellos proyectos e investigaciones que van a hacer que esta tecnología avance a pasos agigantados, ver sus perspectivas de futuro, analizar sus puntos fuertes y sus puntos débiles. Vislumbrar que soluciones se aportan a distintos problemas y hasta donde se puede automatizar el proceso.

### 11.1. LOS AGENTES DE LA REVOLUCIÓN

Los he querido llamar así dado que son personas, empresas, investigaciones y proyectos que, tras ver los avances y posibilidades, serán decisivos en esta nueva revolución industrial en el sector de la construcción.

#### 11.1.1. RepRap

RepRap es la primera máquina auto-replicante de uso general de la humanidad. Se trata de una impresora que puede imprimir sus propias piezas y duplicarse, lo que da pie a un crecimiento exponencial de las impresoras 3D en el mercado.

Este proyecto plantea que en cada casa o centro comunitario exista un RepRap, con la cual sería solo necesario, descargar un diseño de internet para imprimir cualquier modelo.

Como el BIM, no es un agente directo en la construcción, pero considero su mención especial por el avance que ha propiciado en el mercado.

Con una filosofía de Open Source, o código abierto, cualquiera puede descargarse un modelo subido, ver el código, o modificarlo a su antojo. Ésta libertad, sin patentes o sin restricciones, ha sido la propiciadora de que a día de hoy haya cientos o miles de prototipos y ejemplos de objetos, juguetes, materiales, herramientas, prótesis, y cualquier cosa imprimible que hayan imaginado hasta el momento.

Ha sido tal la revolución en este campo que, gracias a ellos hasta unos niños de primaria podrían imprimir una prótesis para una compañera suya que le falte una mano sin recurrir a las costosas tradicionales. («RepRap - RepRapWiki», s. f.)

Los repositorios, mercados y buscadores más reconocidos en la comunidad son:

- [Thingiverse](#)
- [Kraftwurx](#)
- [Yeggi](#)
- [3dvia](#)
- [Cults](#)
- [YouMagine](#)
- [TinkerCAD](#)

### *11.1.2. Behrokh Khoshnevis*

Podríamos decir que Behrokh Khoshnevis, fue el primero en crear un sistema de construcción automatizada aplicado a la construcción.

Profesor de la USC Viterbi de ingeniería industrial y sistemas, ingeniería aeroespacial y mecánica, ingeniería astronáutica. Ingeniero biomédico, y civil y del ambiente, director del Centro para la Fabricación de Tecnologías de Automatización Rápida.

Reconocido inductor de la Academia Nacional de Inventores, activo en robótica, desarrollo relacionado con mecatrónica y la Separación Selectiva Sinterizada (SSS) utilizado para el Contour Crafting.

Lo que le caracteriza es que fue el primero en diseñar un sistema de construcción en serie de una casa funcional In-Situ, con la incorporación de un camión que porta la máquina y el material al mismo tiempo. También añadió una pletina a la boquilla que deja como resultado final del muro un acabado liso en la cara exterior.

La incorporación de la computación en el proceso constructivo puede llevar a conocer exactamente qué cantidad de material se necesitará, evitando contaminación y residuos posteriores.

El método se basa en la construcción de los muros dejando los huecos para ventanas y puertas, cambiando la boquilla momentáneamente por una pinza para poder poner la parte superior e imprimir encima y la colocación de las vigas sobre los muros para finalizar una planta. Además, se permite prever la implantación de las instalaciones tanto eléctricas como sanitarias.

Ya no sólo hay una boquilla, sino que hay una incorporación de piezas en la máquina para hacerla más versátil.

Además de ofrecer un sistema sencillo en la construcción, ofrece también soluciones para construcciones en la Luna y Marte, utilizando como materia prima hasta el 80% del material lunar. («Contour Crafting», s. f.)

Las aplicaciones que ellos mismos han propuesto son

- -Colonias espaciales: junto con la NASA, proponen la creación de colonias en la Luna y Marte. Con los robots que pueden ser automatizados o dirigidos desde la tierra, se quiere crear, utilizando el material propio del ambiente, unos refugios para posibles investigaciones en colonias.
- -Aplicaciones comerciales: el Contour Crafting propone la eliminación de límites en el diseño arquitectónico, y la reducción de costes en los trabajos de puesta en obra, además de suprimir los residuos. Y sobre todo un aceleramiento en los proyectos de construcción de gran magnitud. Y lo más importante, los trabajadores no serán puestos en riesgos innecesarios.
- -Casas de emergencia: las víctimas de situaciones de emergencia, como guerras o desastres naturales, no tendrían que esperar meses para volver a tener un hogar digno, pudiendo construir hasta 610 metros cuadrados en 24 horas. Casos como tsunamis en Asia, los terremotos en Pakistán o huracanes en EEUU, podrían ser un problema para el sistema tradicional, pero la automatización daría refugio a todos aquellos que las necesitaran rápidamente y no solo un espacio diáfano, sino que también tendrían instalaciones tanto eléctricas como sanitarias.
- -Edificación de bajo ingresos: con más de mil millones de personas en el planeta viviendo en condiciones de pobreza, no se puede mirar a otro lado, y se podrían proveer en todos países y sociedades casas dignas y que sean asequibles.
- -Aspectos ambientales: proponen que gracias al uso de ordenadores y robots se reduzca el material total usado, la energía total consumida para todas actividades constructivas, el gasto energético y material y menor transporte de material, equipamiento y personal.

Además, ofreciendo grandes aspectos en seguridad, como menos lesiones en las actividades de transporte, la reducción del contacto directo del trabajador con material que pueda ser dañino, menor ruido, menos exposición a los polvos y sustancias en el aire y un mayor control en el procedimiento a la hora de identificar errores en el proceso constructivo.

Dando lugar a unos edificios más eficientes con menos consumo energético, mejor eficiencia en el espacio interno para ocupantes, un incremento en la fuerza y resistencia de los materiales debido al menor envejecimiento, y una mejora de durabilidad ante sismos dada la mejora en el diseño y material.

### 11.1.3. 3DCons

Un proyecto con marca España, que quiere introducir las tecnologías de impresión 3D en la industria de la construcción.

Un proyecto que ha unido a un gran grupo de agentes colaboradores para el mismo fin, la investigación de procesos de rehabilitación de fachadas, paramentos verticales y restauración de elementos arquitectónicos mediante la impresión directa en los muros.

Incorporando nuevas TIC's como:

- El escaneado 3D: para la realización de modelos virtuales partiendo de uno ya hecho con la intención de rehabilitarlo pudiendo trabajar sobre un modelo electrónico antes.
- Termografías: para el análisis de un edificio y ver si hay escapes o fugas térmicas, y como el edificio aísla el interior del exterior.
- BIM: el modelado de construcción informativa, el cual representa otra de las revoluciones a la hora de la fase de proyecto, pudiendo trabajar conjuntamente todos los intervinientes en la obra y llevando un control hasta lo más minucioso de una obra a tiempo real durante la ejecución.
- Simulaciones energéticas: obteniendo un modelo del edificio de eficiencia energética el cual podrá servir de base para un cálculo de energías, aislamientos e impactos ambientales del edificio.

Aplicando estos modelos y aportes de información se puede determinar qué cantidad de material, y en qué condiciones de transmitancias, resistencia o acabado se necesitan en cada momento del proceso constructivo.

En este proyecto se buscan crear materiales para imprimir en 3D en base de yeso, cal, cemento y mezclas mixtas de los mismos para su aplicación tanto estructural como meramente ornamental. («3DCons | Nuevas tecnologías de impresión 3D», s. f.)

Otro de los objetivos que se buscan, es la creación de sistemas robóticos de impresión 3D para automatizar los procesos de construcción, rehabilitación y restauración. El material es una pequeña parte de la impresión 3D, relegando la mayor relevancia a los robots utilizados. En abril de 2016 se hicieron las primeras pruebas de impresión sobre elementos verticales como fachadas y paramentos.

Desde España, esta investigación que en 2018 propone tener su propio sistema, material y maquinaria, puede dar un cambio sustancial al mercado, aportando nuevas soluciones más sencillas y económicas que las tradicionales

### *11.1.4. Loughborough University*

En el reino unido hay otro grupo, que al igual que en 3DCons, es una colaboración entre empresas e investigaciones universitarias.

En este caso los participantes son:

- Foster+Partners: se ocupan de la parte de diseño de piezas, trabajando en modelos y aplicaciones en 3D. Trabajan con la Universidad de Loughborough desde 2007 en el primer robot de impresión 3D comercial.
- Skanska: se encargan de la gestión de proyecto
- Loughborough University: desarrollan el sistema de impresión, la máquina, el software y la aplicación a la hora de implementar las instalaciones tanto de fontanería como eléctrica intramuro.
- ABB Robotics: tienen la misión de crear el robot que imprimirá los muros y los acabados interiores del edificio.
- Buchans Concrete: son los responsables del sistema de bombeo, y el mecanizado de la puesta en obra. La factorización del método.
- Lafarge Tarmac: proporcionan el cemento, asegurando que las calidades, resistencias y aditivos están controladas para tal fin. Ya sea con resinas o con fibras, el proveedor se encarga del testeo del material y el correcto estado de viscosidad y resistencia requeridas.

En estas colaboraciones, la Universidad, ha demostrado su capacidad de impresión en la creación de paneles para fachadas que no podrían realizarse de manera tradicional, un banco totalmente hecho con cemento y algún ejemplo de su manera de implementar la instalación y la estructura metálica en los muros.

La verdadera revolución es la inclusión en los mismos muros los sistemas de fontanería, saneamiento, electricidad y estructural, dando lugar a un muro con huecos preconcebidos para ser rellenados con el planeamiento previo de las instalaciones.

Su sistema es distinto al Contour Crafting, por varias razones como que no alisa el borde exterior, o no cambia la boquilla por una pinza a la hora de incluir la instalación, sino que lo hace después. Tampoco deja huecos vistos, sino que son dentro del mismo muro protegiendo las instalaciones. («5\_Foster\_-\_Partners\_RD\_Paper\_Design\_Potential\_Lge\_scale\_fabrication\_FINAL.pdf», s. f.)

### 11.1.5. WASP

El proyecto WASP, (World's Advanced Saving Project), creado en 2012 en Italia, se centra en el desarrollo de la autoproducción sostenible.

Con la premisa de estar basados en código abierto, cualquiera puede acceder al material didáctico, de cómo usarlo, a una base de modelos y como a partir de ellos o desde cero, crear su propio objeto a imprimir.

Su objetivo es construir casas a kilómetro 0, en el sitio de puesta en obra, y que el mismo usuario sea capaz de personalizarla, crear su propio mobiliario e instalaciones con el conocimiento compartido. Además de dar importancia al consumo energético, promoviendo que su máquina una vez transportada se alimentara con paneles solares o energía eólica para su funcionamiento.

Se dedican a vender impresoras para uso médico (WASP Med), para la creación de cerámicas (WASP Clay) y para la educación (WASP Edu). Pero además de venderlas tienen un soporte técnico importante y una gran cantidad de material didáctico y cursos para la formación sobre cómo hacer sus propios proyectos.

Ahora están centrados en el *Maker Economy Starter Kit* que sería lo básico que necesitas para hacerte tu casa tú mismo y la promulgación del conocimiento sobre impresión para convertir a los clientes en lo que se llamarían consumidores-productores, haciendo que el comprador tome parte en la obra, siempre con un objetivo de sostenibilidad y respetuoso al medio ambiente.

El modelo de autosuficiencia propuesto por WASP y de compartir información es lo que le da a este grupo un plus de importancia, tratando de evitar la huella en el ambiente y haciendo partícipes a las personas de sus propios proyectos. («Stampanti 3D | WASP», s. f.)

### *11.1.6. WinSun y el mercado chino*

WinSun se ha hecho partícipe de gran cantidad de proyectos, desde 10 casas en 24 horas, baños públicos, un edificio de 5 plantas o incluso una réplica de los jardines protegidos por la UNESCO como patrimonio de la cultura china.

Algunos de los materiales que WinSun ha desarrollado son:

- (GRG) Gypsum reforzado con fibra de vidrio especial: diseñado para decoración interior, un vidrio resistente a cracks, radiación fácil de instalar, y gran resistencia.
- (SRC) Cemento reforzado con fibra de vidrio especial: para decoración interior y exterior con curvas. Aplicándolo en pilares con decoración curva, centros comerciales y otros proyectos
- (FRP) Material compuesto con fibra especial: para la fabricación de mobiliario
- Piedra natural impresa: para muros y suelos tanto cubiertos como expuestos

Otra de las premisas de la compañía es la utilización de materia prima como residuos de construcción y residuos industriales en su nuevo material de construcción evitando contaminar el medio ambiente.

El ambiente de polución en china debido a la industrialización y cantidad de gente es un problema para las ciudades, y la construcción y los polvos que generan no ayudan, y esa fue otra de las razones por las que la empresa utilizaba este tipo de deposición de material.

También inventaron la impresora 3D de "desierto", una impresora que utiliza la arena del interior de Mongolia, deteniendo la desertización y tomando arena local como materia prima, que servirá para estabilizar muros y fachadas verdes.

Según WinSun, la incorporación de la impresión 3D junto a la construcción tradicional, industrializándola, puede hacer los procesos más sencillos, mejorar la eficiencia y acortar periodos de construcción ahorrando en costes

- Ahorro entre 30-60% en Materiales
- Ahorro entre 50-70% en Tiempo
- Ahorro entre 50-80% en Trabajo

A pesar de ser reciente, WinSun ha construido una gran cantidad de proyectos en muy poco tiempo. Según Behrokh Khoshnevis, el padre de la construcción con impresoras 3D, el CEO de WinSun fue a visitarlo a California, tras ello le invito a ver sus

instalaciones en China y le pidió que le explicara detalles sobre el Contour Crafting. Terminaron no haciendo negocio, pero al parecer utilizaron los conocimientos que Behrokh Khoshnevis les proporcionó para incorporarlos a su tecnología. Por eso tiene una "mancha" de plagio que no está demostrado oficialmente, pero de la que la empresa quiere limpiar.

Otras empresas han visto oportunidad de negocio y han creado sus propias máquinas y realizado proyectos similares para demostrar su potencial como son el caso de HuaShang Tengda Industry and Trade, con su método de impresión sobre la armadura directamente, o ZhuoDa Group con sus casas modulares prefabricadas. («盈创-3D打印 建筑未来», s. f.)

### *11.1.7. IAAC*

El Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña, es uno de los referentes en lo que a investigación e innovación nos podemos referir. («IAAC», s. f.)

Cuentan con alumnos que, normalmente becados, estudian en la universidad para la realización de investigaciones tales como los "Minibuilders" o los elementos cerámicos de Pylos.

Son participes activos en la promulgación de nuevas tecnologías, y prácticamente cada semana hay charlas, que para quien no viva en Barcelona y la quiera ver, retransmiten online en directo en la plataforma YouTube.

Otras particularidades son la asistencia presencial a cursos magistrales de programación con un profesor retransmitiendo a varias universidades del planeta al mismo tiempo, por videoconferencia. Y la más interesante a mi parecer es el espacio de trabajo donde puedes utilizar las impresoras de la universidad para imprimir tus propias maquetas, dando pie al aprendizaje más básico como es el ensayo y error.

Su gran cantidad de información, la divulgación científica que promueven, la formación a través de ponencias, la libertad de creación y su participación en ferias a nivel nacional como Construmat los hace pioneros en el sector a la hora de investigar.

### *11.1.8. Andrey Rudenko*

Él solo, se construyó su propia máquina de impresión 3D en 2014. Con conocimientos de ingeniería sorprendió al mundo presentando un castillo hecho con su impresora en su propio jardín.

Desde Minnesota, Andrey ideó su proyecto de castillo, y lo fue imprimiendo en ráfagas de 50 cm cada vez de altura para evitar que colapsara.

Algo que le dio experiencia por la cantidad de pequeños detalles a resolver, pero que le ayudó a formarse para poco después fundar "TotalKustom"

Se fue a Filipinas con Lewis Yakich, y en diciembre de 2015 construyeron el primer hotel con impresoras 3D.

"The Lewis Grand Hotel" ha sido totalmente construido con impresoras 3D, incluyendo fontanería y saneamiento. Es ideado como un apartado de ocio dentro del mismo hotel donde hasta la bañera está impresa con esta tecnología.

El material que usaron era arena volcánica, que les daba resistencia y la adherencia entre capas necesaria.

Les tomó dos meses para instalar la primera impresora, que ahora les costaría un par de semanas, les costó un mes testear las mezclas justas, pero ahora, una vez terminado.

Ahora han firmado un contrato para hacer 200 casas de bajo coste, y esperan alzar esa cifra a las 2000 en dos años, dada la situación filipina de gente viviendo en la calle por falta de ingresos. Han estimado que les va a costar una semana el imprimir 6 casas simultáneamente, de las 20 que tienen previsto hacer.

Según sus análisis, nos ahorraríamos el 60% de los costes en la construcción. («Rudenko 3D Printer», s. f.)

### *11.1.9. Tecnología BIM*

Aunque no sea un agente como tal, tiene una especial mención en este tipo de construcción debido a su relación directa.

Un proyecto hecho con tecnología BIM, implica que es un modelo de información, donde están simulados todos los aspectos a tener en cuenta en el edificio. Tanto es así, que se puede contabilizar la cantidad de material, los costes del mismo o los tiempos. Lo que nos viene genial a la hora de incorporarlo a la impresión 3D y ahora veremos por qué.

Con la tecnología BIM podemos hacer cosas como trabajar conjuntamente con los integrantes de la obra de distintos campos como fontanería, instalaciones, decoración, estructura, mobiliario, etc. Lo que provoca que todas las interferencias, o errores posibles se corrijan en fase de redacción de proyecto.

El nivel de detalle en una obra concebida con BIM, puede ser muy minuciosa, hasta el punto de ver cuantos tornillos o tuercas necesitamos y en qué momento se necesitan cada una.

Todo esto retrasa en fase de proyecto, pero agiliza muchísimo en la fase de construcción al replantear sobre el mismo proyecto si hay algún cambio, o evitar errores de concepto al estar todo especificado al detalle.

Ahora bien, teniendo un modelo perfecto de lo que necesitamos modelado en el ordenador, porque no mandarlo a una impresora que será mucho más precisa que la mano humana.

Claro está que no todo se puede imprimir, pero si todo el tiempo de poner ladrillo sobre ladrillo se evita imprimiéndolo de una sola tirada ya se avanzaría de una manera vertiginosa.

## 11.2. APLICACIONES

Desde la creación de tu propia silla a el prototipo de un edificio completo, puentes que se van construyendo a medida que avanza el robot sobre él o colonias extraterrestres. Hasta ahora se han expuesto unos cuantos ejemplos, pero todo tipo de proyectos pueden aparecer de aquí a unos años.

### *11.2.1. Restauración, rehabilitación y detalles ornamentales*

Muchos de los proyectos están orientados principalmente a la utilización de materiales como yesos y escayolas para la réplica de diseños decorativos.

El proyecto 3DCons se centra en uno de sus apartados en la creación de la impresión de diseños in situ en paramentos verticales.

También para la creación de piezas con máxima precisión, para la restauración de elementos antiguos que hayan sido deteriorados o quebrados y dar una visión completa de la pieza.

### *11.2.2. Prefabricados*

El gran potencial de la impresión 3D es, como muchas de las empresas han demostrado, la prefabricación industrializada de piezas con una impresora asentada en una nave industrial. Una vez construidas, se transportarían al lugar de puesta en obra y ensamblarlas allí.

Es el principal método ya que solo se requiere una máquina y además no hay que transportarla al lugar para construir el edificio o las partes necesarias.

### *11.2.3. Fabricación In Situ*

El otro punto fuerte de esta tecnología es la fabricación in situ, la puesta en obra directa del material a la hora de construir.

Se pierde algo de tiempo construyendo la impresora en el sitio, pero todo lo que luego se vaya a imprimir será de manera definitiva.

## 11.3. PROS Y CONTRAS

### *11.3.1. Pros*

En la restauración, rehabilitación y detalles ornamentales

- Capacidad de escaneo y reconstrucción digital de la figura
- Adecuación precisa a la parte faltante
- Impresión directa sobre el muro
- Diseño de formas que no pueden ser creadas de forma tradicional

Prefabricados

- No trasladar la maquina a ningún lugar, con una sirve para todo
- Construcción en ambiente controlado
- Asegurar la no interferencia con agentes externos
- Testeo de prototipos en entornos controlados

Fabricación in situ

- Una vez impreso ya es definitivo
- Rapidez
- No hace falta transportarlo
- No es necesario dividirlo en partes para luego ensamblarlo
- Incorporación directa de sistemas como eléctricos, tuberías o estructura
- Posibilidad de coordinar trabajos adicionales como el solado interior

### *11.3.2. Contras*

En la restauración, rehabilitación y detalles ornamentales

- Limitado a los materiales imprimibles, teniendo cerámicos, plásticos, yesos y cales.
- Limitado a la precisión de la boquilla, teniendo que ser repasado si se quiere un acabado pulido

- Tamaño máximo dado por la impresora
- Necesidad de conocimientos informáticos para la realización del modelo en 3D

#### Prefabricados

- Transporte al sitio definitivo
- Corte modulado para poder transportar
- Imposible incorporar instalaciones
- Necesidad de instalación en la obra mediante grúas
- Unión de las piezas en la obra para evitar filtraciones

#### Fabricación in situ

- Necesidad de adaptación al clima, imposible con mucha humedad
- Necesidad de crear una base sobre la que empezar a imprimir
- Abastecimiento continuo de material
- Intercambio de piezas a la hora de colocar en vez de bombear
- Limitación a la altura de la máquina
- Necesidad de parar para añadir partes como cableado o estructura metálica

## 12. CONCLUSIONES

Las conclusiones una vez visto todo lo anterior son muchas y muy diversas.

La primera es que la impresión 3D puede suponer lo que la cadena de montaje de Henry Ford al sector de la construcción, una automatización del proceso constructivo que mejore la calidad sustancialmente, la velocidad y el tiempo de la creación de edificaciones.

La segunda conclusión es la del impacto ambiental, dado que con la cooperación de sistemas BIM, el control del material, puesta en obra, cantidad, y calidad será muchísimo más detallado, sobretodo porque los dos procesos van de la mano, desde la planificación del proceso, hasta la cantidad de material para evitar la generación de residuos o sobrantes. Todo ello agregando mezclas vistas que no generan tanto CO2 como el cemento en su producción o la utilización de reciclados.

La tercera es una ampliación en el modelo de mercado, haciendo cada vez a las empresas más competitivas; incluyendo impresión 3D en prefabricados para acelerar tiempos como la incorporación de robots en la obra para la impresión in situ de materiales en fachada o estructurales. Provocando que cada vez se ajusten más los precios, los tiempos y todo ello sin perder en calidad o prestaciones.

La cuarta, pero no por ello menos importante es de la implicación de los trabajadores. Ahora trabajos con productos abrasivos, que produzcan polvo, que contaminen, o cualquiera que pueda poner en peligro la salud e integridad del trabajador lo podrá manipular un robot. Por no hablar de los trabajos en altura y riesgos innecesarios que serán evitados con la introducción de estas máquinas. Además de la especialización de los trabajos, ya que será necesaria mano de obra para controlar la máquina, arreglarla y terminar allí donde los robots no lleguen.

La quinta es la accesibilidad a una vivienda para la gente que lo necesite. Ya sea por una catástrofe natural o porque una parte de la sociedad vive en la calle, las tecnologías de impresión 3D prometen rebajar el precio de las viviendas drásticamente. Todos los principales agentes estudiados anteriormente tenían la idea de proporcionar refugio a un coste mínimo, Behrokh Khoshnevis proponía hogares para catástrofes naturales; Andrey Rudenko la creación de más de 2000 casas de bajo coste para los filipinos; WinSun también tiene su propio trato con Dubái; WASP propone la creación personal de una casa con un coste ínfimo... En definitiva, que una de las aplicaciones más importantes es la creación de casas para aquellos que la necesiten de una manera sencilla, rápida, económica y respetuosa con el medio ambiente.

Lo que hasta hace unos años nos sonaba a impensable, como las colonias marcianas o lunares, hoy ya están proyectados y aprobados, solo hace falta unos años para ver la cantidad de cambios que esta tecnología puede llegar a producir.

La construcción con impresoras 3D no va a desbancar a los métodos de construcción tradicional, al contrario, los complementa ampliando posibilidades y creando distintas soluciones y métodos de trabajo para un mismo fin.

Los avances en la construcción hasta ahora eran meramente materiales como resistencias o en herramientas de trabajo, pero es el momento de dar un salto hacia el prototipado rápido aplicado en la construcción. La implicación de nuevas tecnologías como BIM requiere que nuestras técnicas también avancen y mejoren para ser cada vez más competitivos, más precisos, más respetuosos con el medio ambiente, ofreciendo más seguridad a los trabajadores y obtener resultados que no se pueden obtener con el sistema tradicional.

Para terminar mi conclusión, creo que la frase de Larry Page ilustra lo que quiero expresar:

*"Especialmente en la tecnología, necesitamos cambios revolucionarios y no sólo incrementales." – Larry Page, fundador de Google*

(«Especially in technology, we need revolutionary change, not incremental change. - Larry Page - BrainyQuote», s. f.)

## 13. BIBLIOGRAFÍA

3D printed «Yhnova» social housing project breaks ground near Nantes, France. (s. f.).

Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de

<http://www.3ders.org/articles/20170913-3d-printed-yhnova-social-housing-project-breaks-ground-near-nantes-france.html>

3D printing construction company Apis Cor prints 37 m2 house near Moscow, plans global

expansion. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de

<http://www.3ders.org/articles/20170213-3d-printing-construction-company-apis-cor-prints-37-m2-house-near-moscow-plans-global-expansion.html>

3DCons | Nuevas tecnologías de impresión 3D. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016,

a partir de <http://www.3dcons.eu/>

3DPRINTCANALHOUSE by DUS Architects. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de

2016, a partir de <http://3dprintcanalhouse.com/>

3D-Printed Hotel. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de

<http://totalkustom.com/3d-printed-hotel-suite.html>

3D\_Printing\_Infographic\_FINAL.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de

[https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D\\_Printing\\_Infographic\\_FINAL.pdf](https://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf)

5\_Foster\_-\_Partners\_RD\_Paper\_Design\_Potential\_Lge\_scale\_fabrication\_FINAL.pdf.

(s. f.). Recuperado a partir de

[http://www.fosterandpartners.com/media/1028118/5\\_Foster\\_-\\_Partners\\_RD\\_Paper\\_Design\\_Potential\\_Lge\\_scale\\_fabrication\\_FINAL.pdf](http://www.fosterandpartners.com/media/1028118/5_Foster_-_Partners_RD_Paper_Design_Potential_Lge_scale_fabrication_FINAL.pdf)

10 completely 3D printed houses appears in Shanghai, built under a day. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20140401-10-completely-3d-printed-houses-appears-in-shanghai-built-in-a-day.html>

245~190 Customisable extruder temperature test object by cyberbsd - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:851525>

Adaptive 3D printed facade system Spong3D could hugely improve thermal performance of offices and homes. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170817-3d-printed-facade-system-spong3d-could-hugely-improve-thermal-performance-of-offices-and-homes.html>

AdditiveManufacturingTerminology.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de <http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>

Alain Le Méhauté: le véritable inventeur de l'impression 3D. (2014, septiembre 17). Recuperado 29 de junio de 2017, a partir de <http://www.primante3d.com/inventeur/>

AMT-SPECAVIA builds Europe's first habitable 3D printed building. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20171024-amt-specavia-builds-europes-first-habitable-3d-printed-building.html>

Autodesk Ember 3D Printer. (s. f.). *VariSlice<sup>TM</sup> — Variable Layer Slicing for 3D Printing*. Recuperado a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=HAMneiL5-jQ>

Beaman, J. J., Barlow, J. W., Bourell, D. L., Crawford, R. H., Marcus, H. L., & McAlea, K. P. (2013). *Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing: with Research and Applications in Thermal Laser Processing*. Springer Science & Business Media.

Bridge over river Shanghai: Tongji University unveils China's 1st 3D printed pedestrian bridges. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170719-bridge-over-river-shanghai-tongji-university-unveils-chinas-1st-3d-printed-pedestrian-bridges.html>

Ceramic Constellation Pavilion: New Hong Kong pavilion incorporates over 2,000 3D printed bricks. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170912-ceramic-constellation-pavilion-new-hong-kong-pavilion-incorporates-over-2000-3d-printed-bricks.html>

Chinese company ZhuoDa unveils two-story «3D Module Villas» being built in less than three hours. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20150717-zhuoda-unveils-two-story-3d-printed-module-villas-being-built-in-less-than-three-hours.html>

Chp. 3: Technology. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2017, a partir de [http://www.wtec.org/loyola/rp/03\\_01.htm](http://www.wtec.org/loyola/rp/03_01.htm)

¿Cómo surgió el mundo de la impresión 3D? Impresión 3D antes de RepRap | DIWO. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/>

Contour Crafting. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://contourcrafting.com/>

CoreXY | Cartesian Motion Platform. (s. f.). Recuperado 27 de julio de 2017, a partir de <http://corexy.com/index.html>

Customizable Furniture Minis by mathgrll - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:332507>

CyBe Construction | Redefining construction with 3D Concrete printing. (s. f.). Recuperado 5 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.cybe.eu/>

Digital Grottesque . Printing Architecture. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://vimeo.com/74350367>

Douma, F. (s. f.). DUS Architects – Public architecture and design that consciously influences everyday life. Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://houseofdus.com/>

Dr. Behrokh Khoshnevis. (s. f.). Contour Crafting. Recuperado a partir de <http://www.contourcrafting.org/>

Dubai opens world's first 3D printed «Office of the Future», completed in just 17 days. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20160524-dubai-opens-3d-printed-office-of-the-future-completed-in-just-17-days.html>

Dubai-based Renca develops «green» 3D printing cement made from industrial waste. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170323-dubai-based-renca-develops-green-3d-printing-cement-made-from-industrial-waste.html>

Eindhoven plans to built Europe's first 3D printed concrete house. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20161027-eindhoven-plans-to-built-europes-first-3d-printed-concrete-house.html>

Especially in technology, we need revolutionary change, not incremental change. - Larry Page - BrainyQuote. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.brainyquote.com/quotes/quotes/l/larrypage622181.html>

Exquisite 400 m2 villa 3D printed on-site in Beijing in just 45 days. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20160614-exquisite-400-m2-villa-3d-printed-on-site-in-beijing-in-just-45-days.html>

FastBrick. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://fbr.com.au/>

Foster + Partners works on «commercial concrete-printing robot». (2014, noviembre 25). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://www.dezeen.com/2014/11/25/foster-partners-skanska-worlds-first-commercial-concrete-3d-printing-robot/>

Fotoescultura | Pensar en Fotografía. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://pensarenfotografia.com/2014/12/01/fotoescultura-2/>

Gaudilliere, N. (s. f.). Krypton Post in Aix-en-Provence | XtreeE. Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.xtreee.eu/2016/11/04/krypton-post-in-aix-en-provence-2/>

Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer.

Guitar Wall Hanger by ease - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:1051357>

History of 3D Printing: It's Older Than You Think. (2014, septiembre 5). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>

IAAC. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://iaac.net/>

Joe DeSimone: ¿Y si las impresoras 3D fueran 100 veces más rápidas? | TED Talk | TED.com. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de

[https://www.ted.com/talks/joe\\_desimone\\_what\\_if\\_3d\\_printing\\_was\\_25x\\_faster?language=es](https://www.ted.com/talks/joe_desimone_what_if_3d_printing_was_25x_faster?language=es)

Kai Parthy makes construction 3D printing viable with scalable BMSF steel reinforcement inserts. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20161110-kai-parthy-makes-construction-3d-printing-viable-with-scalable-bmsf-steel-reinforcement-inserts.html>

La casa tutta di un pezzo - Casa & Design. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://design.repubblica.it/2010/11/22/la-casa-tutta-di-un-pezzo/>

Mataerial. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/material/>

Millsaps, B. B. (2016, noviembre 4). Autodesk's VariSlice Algorithm Uses Variable Slicing for High-Resolution 3D Printing, Fast. Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://3dprint.com/154437/autodesk-varislice-algorithm/>

Minibuilders. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/minibuilders/>

MX3D Bridge. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://mx3d.com/projects/bridge/>

MX3D says 3D printed steel bridge in Amsterdam «one-third printed,» expects June 2018 finish. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170920-mx3d-says-3d-printed-steel-bridge-in-amsterdam-one-third-printed-expects-june-2018-finish.html>

Naboni, R., & Paoletti, I. (2014). *Advanced Customization in Architectural Design and Construction*. Springer.

#NEWPALMYRA. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.newpalmyra.org/>

Obayashi Corporation's 3D printed curved bridge first of its kind in Japan. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20171022-obayashi-corporations-3d-printed-curved-bridge-first-of-its-kind-in-japan.html>

Pylos. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <https://iaac.net/research-projects/large-scale-3d-printing/pylos/>

Raspberry Pi 3, Pi 2, and Model B+ case with VESA mounts and more by 0110-M-P - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:922740>

Reims Cathedral Kitset by m\_bergman - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:35798>

RepRap - RepRapWiki. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://reprap.org/>

Researchers at Singapore's NTU making recycled 3D printable concrete that could save the planet. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20170904-researchers-at-singapores-ntu-making-recycled-3d-printable-concrete-that-could-save-the-planet.html>

Retraction test by deltapenguin - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:909901>

Rudenko 3D Printer. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://totalkustom.com/rudenko-s-3d-printer.html>

Spain unveils world's first 3D printed pedestrian bridge made of concrete. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20161214-spain-unveils-worlds-first-3d-printed-pedestrian-bridge-made-of-concrete.html>

Specavia. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.specavia.pro/>

Stampanti 3D | WASP. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.wasproject.it/w/>

Tempietto by Winslow - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:968928>

Test your 3D printer! v2 by ctrlV - Thingiverse. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.thingiverse.com/thing:1019228>

unacasatuttadiunpezzo3\_low.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [https://marcoferreri.files.wordpress.com/2014/04/unacasatuttadiunpezzo3\\_low.pdf](https://marcoferreri.files.wordpress.com/2014/04/unacasatuttadiunpezzo3_low.pdf)

walters\_thirkell\_\_manuscript\_text.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://eprints.uwe.ac.uk/7698/1/walters\\_thirkell\\_\\_manuscript\\_text.pdf](http://eprints.uwe.ac.uk/7698/1/walters_thirkell__manuscript_text.pdf)

What is 3D printing? How does 3D printing work? Learn How to 3D Print. (s. f.). Recuperado 4 de julio de 2017, a partir de <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

WinSun 3D prints two gorgeous concrete Chinese courtyards inspired by the ancient Suzhou gardens. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20160331-winsun-3d-prints-two-gorgeous-concrete-chinese-courtyards-inspired-by-the-ancient-suzhou-gardens.html>

WinSun China builds world's first 3D printed villa and tallest 3D printed apartment building. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de



<http://www.3ders.org/articles/20150118-winsun-builds-world-first-3d-printed-villa-and-tallest-3d-printed-building-in-china.html>

WinSun China unveils fully 3D printed public toilets in Suzhou. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20160901-winsun-china-unveils-fully-3d-printed-public-toilets-at-da-yang-mountain-suzhou.html>

World's first 3D printed bicycle bridge opens to cyclists in Netherlands. (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.3ders.org/articles/20171018-worlds-first-3d-printed-bicycle-bridge-opens-to-cyclists-in-netherlands.html>

盈创-3D打印 建筑未来. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2016, a partir de <http://www.yhbm.com/>



## Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria .....	128	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos .....	0	páginas

La Almunia, a    de    de 20

Firmado: Francisco Javier Bravo Peiro





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

Nº TFG:  
**422.13.170**

Director:

Fdo:  
Jose Ángel Pérez  
Benedicto

Título TFG:  
**Investigación sobre la impresión 3D en la  
edificación**

Autor:  
Francisco Javier Bravo Peiro

6 de noviembre



**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

Nº TFG:  
**422.13.170**

Director:

Fdo:  
Jose Ángel Pérez  
Benedicto

Título TFG:  
**Investigación sobre la impresión 3D en la  
edificación**

Autor:  
Francisco Javier Bravo Peiro

6 de noviembre



**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

Investigación sobre la impresión 3D en la  
edificación

422.13.170

Autor: Francisco Javier Bravo Peiro  
Director: Jose Ángel Pérez Benedicto  
Fecha: 6 de noviembre

