

Diseño paramétrico y producción por impresión 3D de una serie de ocho piezas huecas tramadas en cerámica



Autores

Andrés Federico Ruscitti^{(a)*}, Clara Tapia^(a), Juan Piccirilli^{(a)**}, María Florencia Serra^(b), Nicolás Maximiliano Rendtorff^(bc)

a Laboratorio de Diseño, Departamento de Humanidades y Artes, Universidad Nacional de Lanús, 29 de Septiembre 3901, Remedios de Escalada (1826), Buenos Aires, Argentina.

b CETMIC Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CIC-CONICET La Plata-UNLP) Cno Centenario y 506 M.B. Gonnet (1897), Buenos Aires, Argentina.

c Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, 47 y 115, La Plata 1900 Buenos Aires, Argentina.

*autor responsable: aruscitti@unla.edu.ar

** estudiante becario

Informe técnico: El presente documento de trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos: “Desarrollo de una tecnología de impresión 3D por sistema de extrusión-deposición de materiales cerámicos” de la convocatoria a Proyectos de Investigación Orientados de la Universidad Nacional de Lanús y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas PIO UNLa-CONICET 2016-2017; y “Aplicaciones de la manufactura aditiva por extrusión de pastas cerámicas en el diseño de joyería contemporánea” de la convocatoria Amílcar Herrera 2019 de la UNLa.

Agosto 2021

Palabras clave: Impresión 3D, Cerámica, Diseño paramétrico / 3Dprinting, ceramic, parametric design

Resumen

En este informe técnico nos proponemos documentar la experiencia de modelado digital paramétrico e impresión 3D de una serie de ocho piezas huecas tramadas cerámicas de arcillas blanca y roja de baja temperatura a partir de su presentación comercial en pasta. Además de la prueba de esos insumos comerciales nacionales, el trabajo se orientó a la exploración de las posibilidades del diseño por algoritmos paramétricos y a la puesta a prueba del equipamiento de impresión 3D en la experimentación morfológica con cuerpos de revolución simples recubiertos por una trama formada por una matriz de crestas helicoidales.

Los modelos digitales se generaron mediante la modificación de ciertas variables geométricas de un único algoritmo de diseño paramétrico elaborado en un archivo en el complemento *Grasshopper*® del software *Rhinoceros*® V7. Las piezas se conformaron por impresión 3D con una boquilla de Ø2mm con una configuración de *slicing* de una única pasada perimetral en modo *spiral*, sin fondo ni tapa, con una altura de capa de 1mm. La pasta se hidrató en forma manual, la pasta roja presentó dificultades durante la impresión, con la pasta blanca se lograron flujos de extrusión en un rango controlado que generaron cordones de entre 3 y 4 mm de espesor. Se obtuvieron dos piezas de arcilla roja y seis de arcilla blanca, que durante el secado contrajeron entre 3 y 5%, y luego de una cocción a 1040° tuvieron unas dimensiones generales de 95 a 97 mm de altura, entre 92 y 65 mm de diámetro, y pesaron entre 110 y 248 gr. La experiencia permitió cumplir los objetivos en tanto se logró producir una serie de piezas conformadas por impresión 3D demostrativas de las ventajas del diseño paramétrico y de las características particulares de las pastas comerciales.

Introducción

En este trabajo nos proponemos documentar la experiencia de diseño y fabricación de una serie de piezas cerámicas conformadas mediante la tecnología de impresión 3D que resultan demostrativas de las posibilidades del diseño por algoritmos paramétricos y de las características de la cerámica impresa 3D.

Uno de los objetivos de la experiencia fue evaluar el uso de pastas comerciales tradicionales basadas en arcillas nacionales como insumo del proceso de impresión 3D. Con el objetivo de comparar el desempeño de un producto estándar, en relación a las impresiones anteriores realizadas por el equipo de investigación con pastas preparadas en el laboratorio a partir de un mezclado en seco, agregado de agua hasta estado barbotina y una deshidratación en bolsa hasta estado pasta pegajosa.

En el marco del análisis de las características típicas de la cerámica impresa 3D, nos interesaba experimentar en la aplicación de tramas sobre la forma de vasijas simples (cuencos, vasos, jarras, botellas, etc.). El campo del *pottery* (o alfarería) constituye en la actualidad el más dinámico en el uso del diseño paramétrico en impresión 3D de cerámica. La capacidad de diseño e impresión 3D de estas morfologías, mediante el ajuste de tamaño, proporción y densidades de trama, permitirán su aprovechamiento en el diseño de joyería contemporánea cerámica impresa.

Los modelos diseñados corresponden al cuerpo de una vasija, sin su fondo de manera de exponer los efectos del tramado en las caras internas. La geometría de estos cuerpos huecos consiste en un sector de toroide, definido por la revolución completa de un arco de circunferencia. Sobre estas superficies de revolución se aplica una trama generada por la copia circular de dos crestas opuestas de sección triangular y desarrollo helicoidal (Fig. 1).

Desarrollo del trabajo

Las actividades desarrolladas fueron:

1. Preparación de las pastas

Se adquirieron dos paquetes de 10 kg de una pasta roja y otra blanca de baja temperatura marca *Antares* (Argentina). Se fraccionaron en porciones de 2,5 kg y, a cada parte, se le agregó agua y se amasó hasta conseguir una pasta homogénea.

Luego se las dejó reposar entre una y dos semanas envueltas en toalla mojada y doble bolsa de plástico. Durante el reposo se las amasó entre 2 y 3 veces. En base a las experiencias anteriores se buscó una consistencia de pasta algo pegajosa, es decir cerca de su límite líquido.

2. Modelado digital

Se elaboró un algoritmo de diseño paramétrico en el editor de algoritmos gráficos *Grasshopper@* incluido en el software de diseño *Rhinoceros@* (Fig. 2) con el que se obtuvieron los modelos digitales de los ocho cuerpos de revolución tramados con diferentes configuraciones (cóncavos y convexos, variación de altura y curvatura de cresta, densidad de trama) (Fig. 3)

El algoritmo se compone de.

- un primer bloque en el que se define una superficie de revolución cuya generatriz es un arco por tres puntos en el plano XZ; los valores de las coordenadas en Z se mantuvieron comunes para los ocho variantes, con el punto medio a 50 mm y la altura total de 100 mm; los valores X de los puntos del arco fueron modificados para lograr unos casos cóncavos y otros convexos con diversas curvaturas

- en el segundo bloque se definen los puntos de la curva helicoidal generatriz de las crestas; el ángulo de inicio y fin de la curva se mantuvo constante para todos los modelos. Se modificó en algunos casos la curvatura mediante el control gráfico.

- en el tercer bloque se trasladan los puntos de la generatriz sobre la superficie de revolución y se crea una curva interpolando estos puntos

- el bloque *Secciones cresta* permite generar dos triángulos, mediante el comando *Polygon* (de tres lados), cada uno centrado en los puntos inicios y fin de la curva generatriz. Las dimensiones del radio del polígono fueron usadas como variables para los diferentes modelos.

- el quinto bloque contiene los componentes de generación de la cresta mediante el barrido entre los dos triángulos a través de la curva generatriz; de la copia simétrica de la cresta y de la matriz circular de ambas crestas opuestas

- el último bloque convierte la superficie inicial en un sólido al crear el fondo y la tapa, y luego realiza la operación de unión con los sólidos de las crestas.

3. Programación de la impresión

Se cargaron individualmente los modelos digitales exportados del paso anterior en el software de impresión 3D *Repetier-Host*®. Se realizó el *slicing* usando el software *Slic3r*® con una configuración de única pasada perimetral, sin fondo ni tapa, en modo *spiral* con una altura de capa de 1 mm.

4. Impresión 3D

Se realizó el conformado de las piezas en la impresora 3D cartesiana grande del laboratorio, equipada con el dispositivo de extrusión V4 con boquilla de $\varnothing 2\text{mm}$ (Fig. 4) (Ruscitti y col 2018). La presión del alimentador se mantuvo constante en 6bar. Los programas llevaron entre 12 y 18 minutos. La pasta roja presentó dificultades de extrusión con pérdidas de flujo, presumiblemente a una baja fluencia por falta de hidratación. Con la pasta blanca se lograron flujos de extrusión relativamente constantes lográndose espesores de entre 3 y 4 mm.

5. Postprocesado

Las piezas se dejaron secar sobre sus bases de *durlock* (Fig. 5) en un gabinete cerrado a temperatura ambiente. Una vez secas se las horneó a 1040°. Las piezas cocidas presentaron una contracción en la altura del 3 al 5%; sin deformaciones en las piezas cóncavas y con pérdida de planitud en la cara superior en las convexas.

En la siguiente tabla se informa para cada pieza su peso y la referencia a la figura que muestra los valores del algoritmo y fotos de las piezas cocidas

Pieza Nº	Fig. nº	Peso (gr)
1	6	130
2	7	162
3	8	233
4	9	150
5	10	146
6	11	248
7	12	138
8	13	110

Comentarios finales

Las pastas comerciales probadas resultaron aptas para la impresión 3D; quedando para futuras experiencias incorporar un método de taller de medición de consistencia de las pastas durante su hidratación.

El proceso de conformado resultó exitoso para la complejidad de las morfologías planteadas; excepto los problemas de fluencia con la pasta roja los demás parámetros de material, programación e impresión resultaron adecuados.

El proceso de modelado paramétrico por algoritmos demostró ser una excelente herramienta para la aplicación de texturas a partir de patrones geométricos parametrizados sobre sólidos simples. Si bien la construcción del algoritmo requiere habilidades de programación y conocimientos de morfología digital; la manipulación de las variables principales de la forma es muy sencilla y podría hacerse accesible a no expertos mediante una mejora de la interfase gráfico.

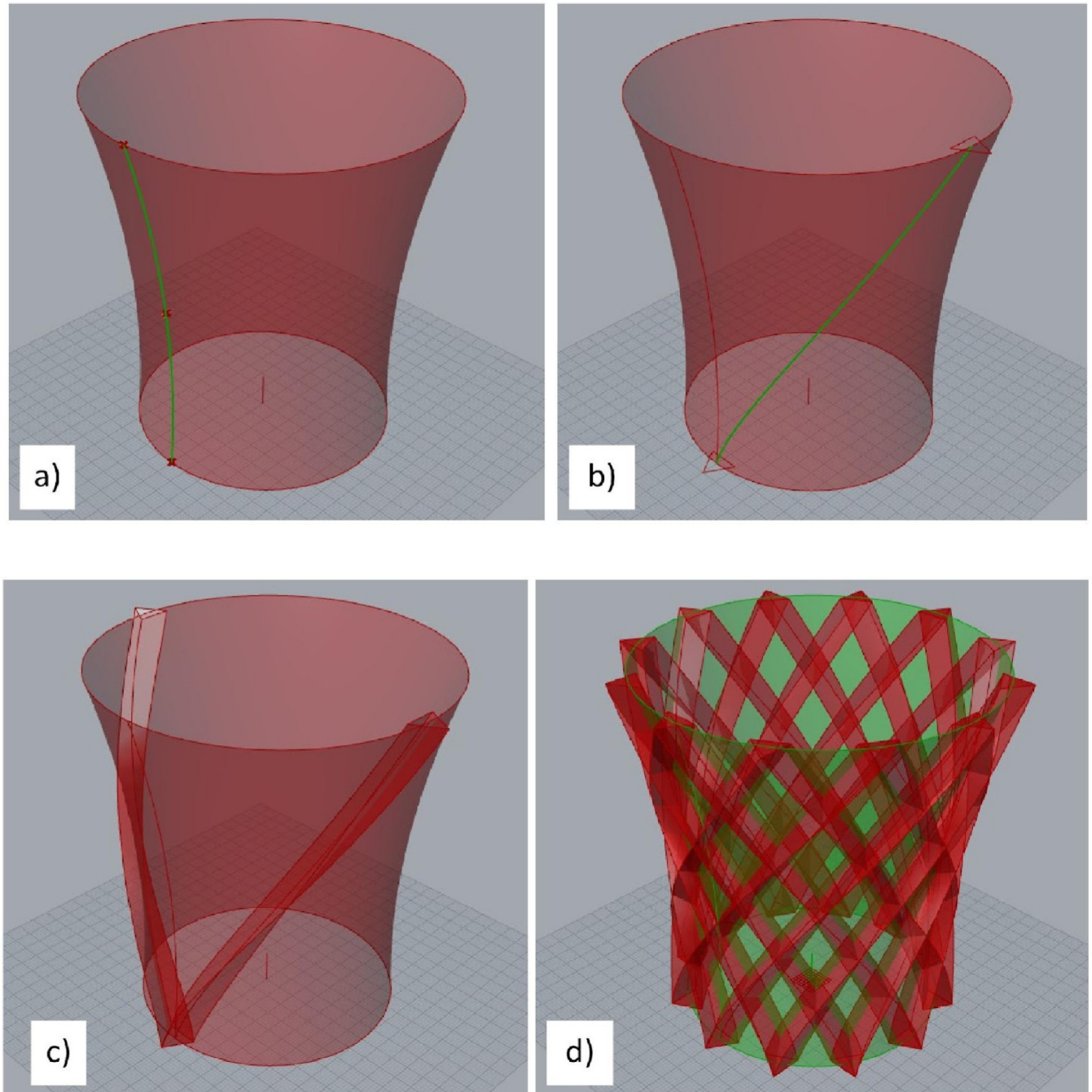
Agradecimientos

Los autores agradecen a CONICET y UNLa por el financiamiento; M.F.S. agradece por la beca posdoctoral CONICET; J.P. agradece por la beca de la convocatoria Amílcar Herrera 2019 de la UNLa.

Referencias

- McNeel Robert & Associates. (2009, 2021). *Grasshopper*®. <https://www.rhino3d.com/features/#grasshopper>
- McNeel Robert & Associates. (1993, 2021). *Rhinoceros*®. <https://www.rhino3d.com/mcneel/about/>
- Ranellucci, A. (2011, 2017). *Slic3r*®. <https://slic3r.org/>
- Hot-World GmbH & Co. KG. (s. f.). *Repetier-Host*®. Repetier Software. <https://www.repetier.com/about-us/>
- Ruscitti, A., Rendtorff Birrer, N. M., & Serra, M. F. (2017). *Dispositivo de Impresión 3D de Pasta Cerámica UNLa-CETMIC, por alimentación neumática y extrusión a tornillo, Versión 1*. <https://doi.org/10.18294/rdi.2019.175797%20>
- Ruscitti, A., Rendtorff Birrer, N. M., & Serra, M. F. (2017). *Dispositivo de Impresión 3D de Pasta Cerámica UNLa-CETMIC, por alimentación neumática y extrusión a tornillo, Versión 2*. <https://doi.org/10.18294/rdi.2019.175798%20>
- Ruscitti, A., Rendtorff Birrer, N. M., & Serra, M. F. (2017). *Dispositivo de Impresión 3D de Pasta Cerámica UNLa-CETMIC, por alimentación neumática y extrusión a tornillo, Versión 3*. <https://doi.org/10.18294/rdi.2019.175799%20>
- Ruscitti, A., Rendtorff Birrer, N. M., Serra, M. F., & Stabile, M. (2018). *Dispositivo de Impresión 3D de Pasta Cerámica UNLa-CETMIC, por extrusión con pistón mecánico para jeringa estándar*. <https://doi.org/10.18294/rdi.2019.175801%20>
- Ruscitti, A., Tapia, C., & Rendtorff, N. M. (2020). *A review on additive manufacturing of ceramic materials based on extrusion processes of clay pastes*. *Cerámica*, 66, 354-366. <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663802918>

Fig. 1 Elementos geométricos de los modelos digitales
a) Sector de toroide, superficie de revolución de un arco definido por tres puntos
b) curva generatriz y secciones triangulares de cresta
c) crestas opuestas
d) copia circular de las crestas



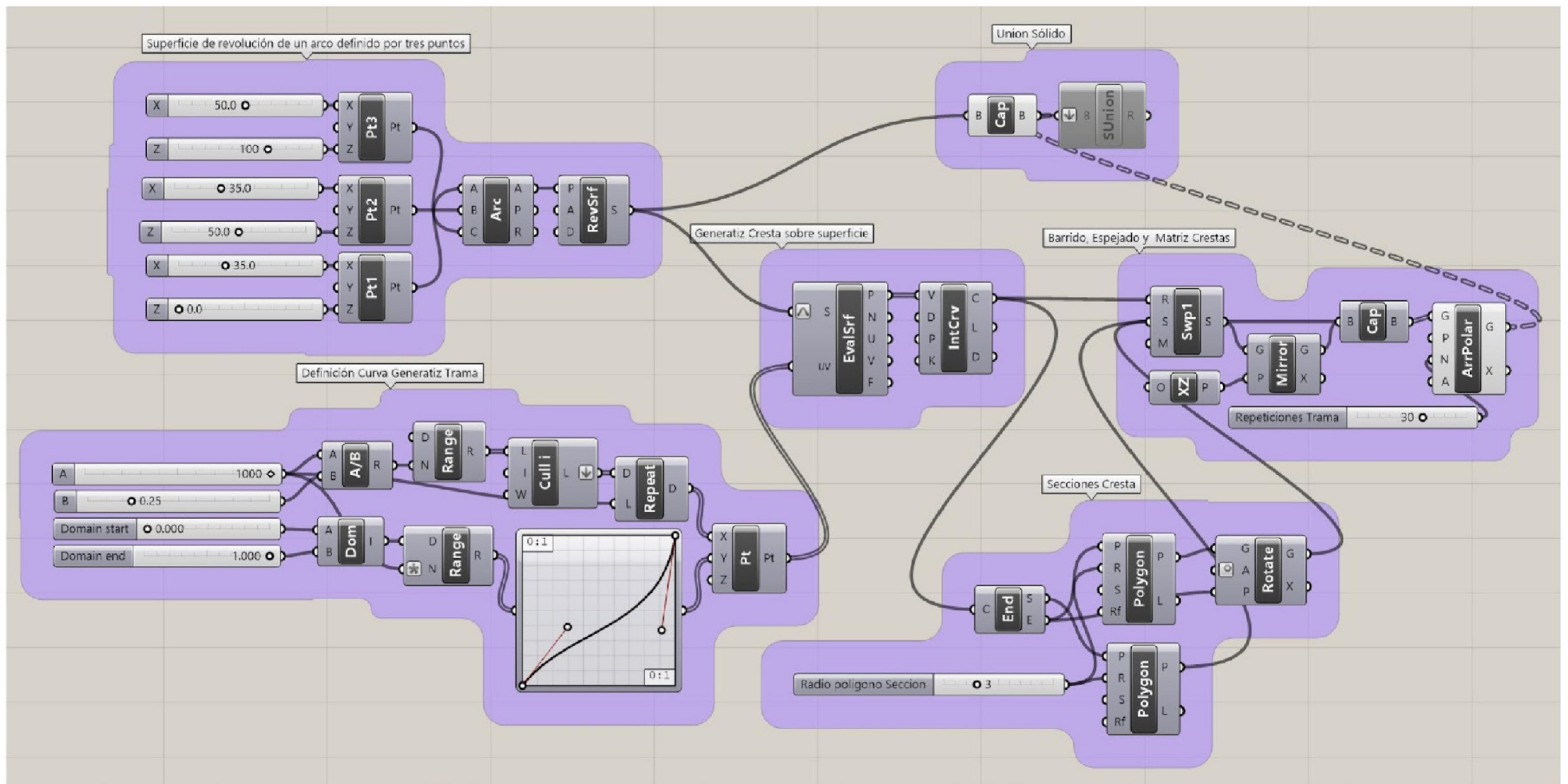


Fig. 2 Algoritmo de generación de los modelos digitales



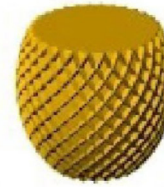





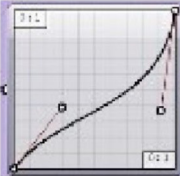
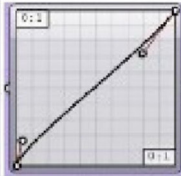
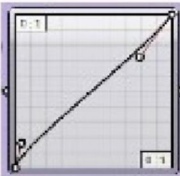
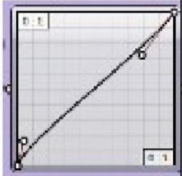
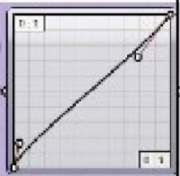
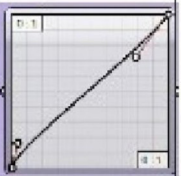
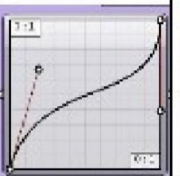
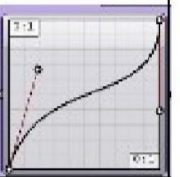
Pieza N.º			1	2	3	4	5	6	7	8	
Sólido unión cuerpo de revolución y matriz de crestas											
Superficie de revolución de un arco definido por tres puntos	Puntos de arco generatriz	Pt 3 (mm)	X3	50	40	40	50	45	30	30	45
		Z3	100								
		Pt 2 (mm)	X2	35	52,5	52,5	35	30	55	52,5	30
		Z2	50								
Crestas	Control bezier curva directriz	Pt 1 (mm)	X1	35	35	35	45	40	40	40	40
		Z1	0								
											
		Radio polígono sección (mm)		3	5	3	5	10	10	5	5
		Repeticiones matriz crestas		30	20	30	20	12	12	12	12

Fig. 3 Tabla de valores del algoritmo de los ocho modelos

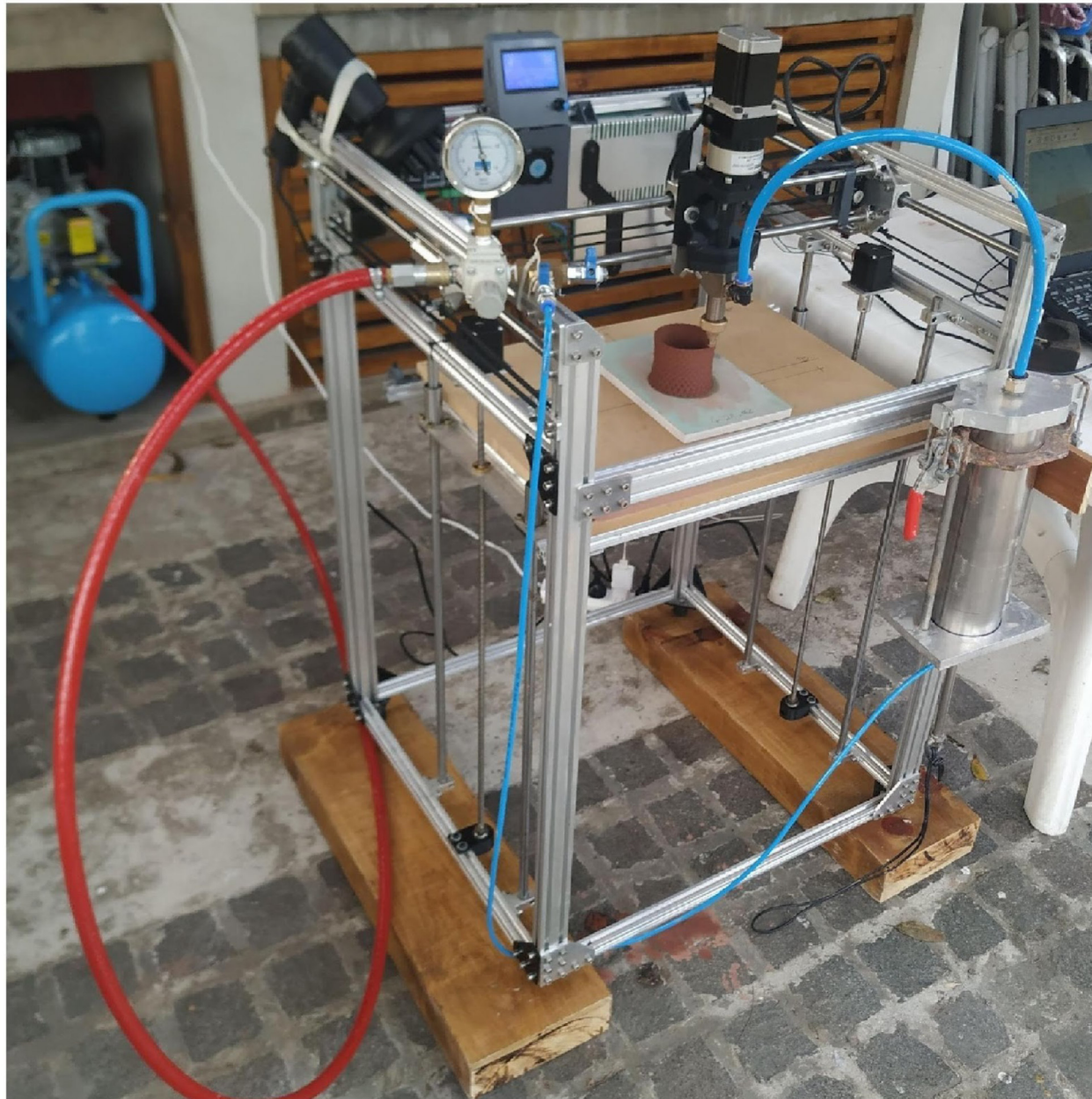


Fig. 4 Equipo de impresión 3D en funcionamiento



Fig. 5 Piezas durante el secado


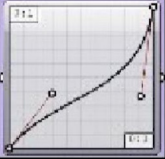

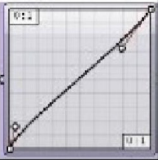
#	1
	
X3	50
Z3	100
X2	35
Z2	50
X1	35
Z1	0
Control curva	
Radio sección	3
Repeticiones	30



Fig. 6 Valores del algoritmo y pieza 1 cocida

#	2
	
X3	40
Z3	100
X2	52,5
Z2	50
X1	35
Z1	0
Control curva	
Radio sección	5
Repeticiones	20

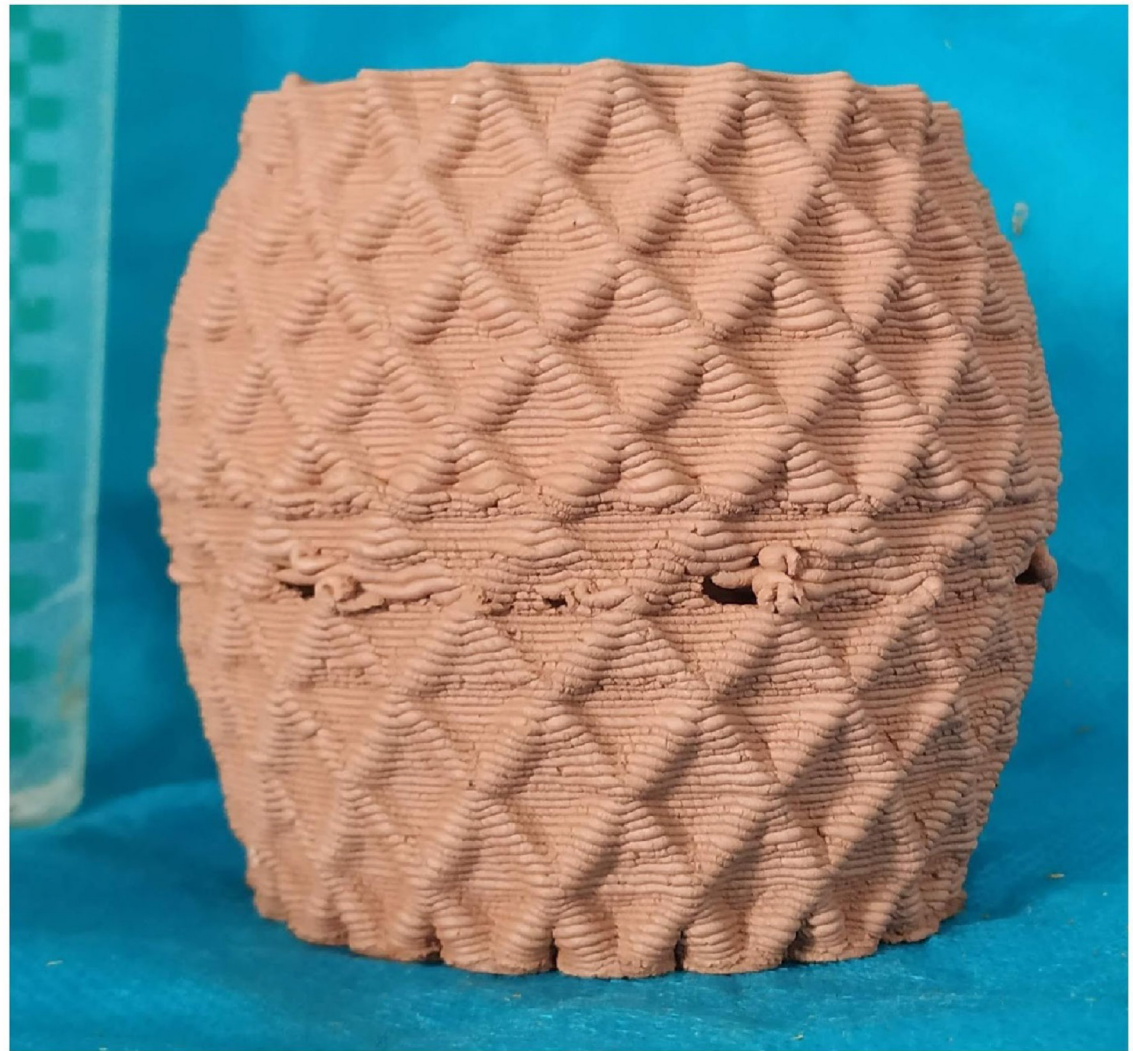
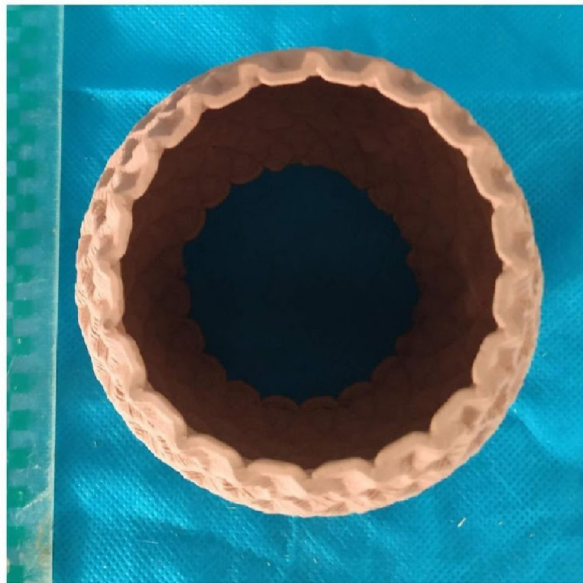


Fig. 7 Valores del algoritmo y pieza 2 cocida


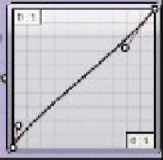
#	3
	
X3	40
Z3	100
X2	52,5
Z2	50
X1	35
Z1	0
Control curva	
Radio sección	3
Repeticiones	30



Fig. 8 Valores del algoritmo y pieza 3 cocida


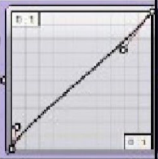
#	4
	
X3	50
Z3	100
X2	35
Z2	50
X1	45
Z1	0
Control curva	
Radio sección	5
Repeticiones	20



Fig. 9 Valores del algoritmo y pieza 4 cocida


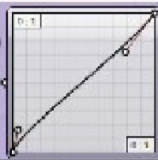

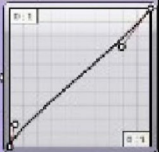
#	5
	
X3	45
Z3	
X2	30
Z2	
X1	40
Z1	
Control curva	
Radio sección	10
Repeticiones	12



Fig. 10 Valores del algoritmo y pieza 5 cocida

#	6
	
X3	80
Z3	100
X2	55
Z2	50
X1	40
Z1	0
Control curva	
Radio sección	10
Repeticiones	12

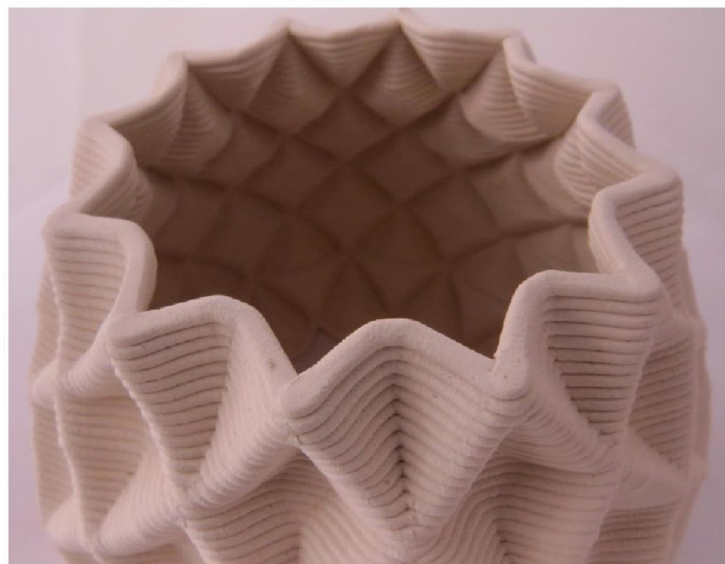




Fig. 11 Valores del algoritmo y pieza 6 cocida

#	7
	
X3	80
Z3	100
X2	52,5
Z2	50
X1	40
Z1	0
Control curva	
Radio sección	5
Repeticiones	12

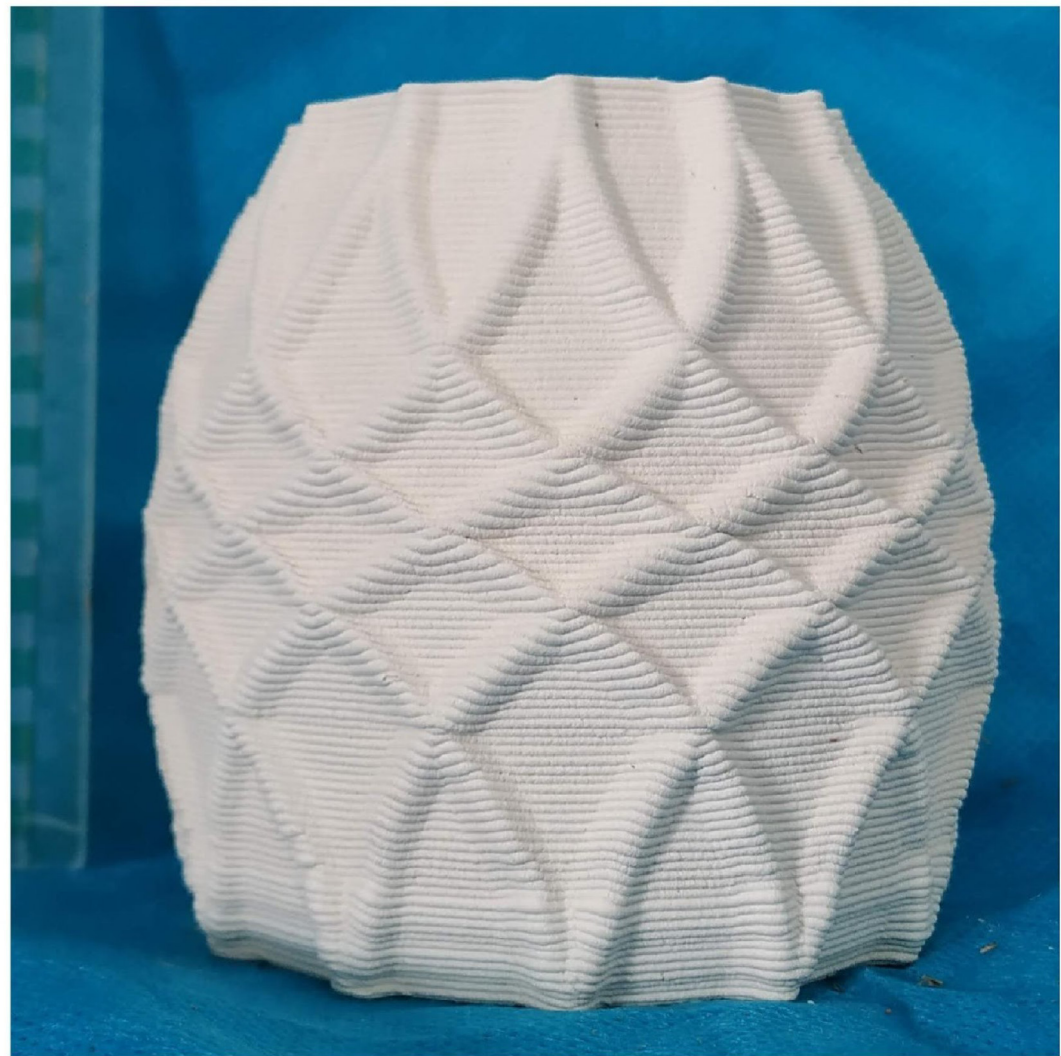


Fig. 12 Valores del algoritmo y pieza 7 cocida


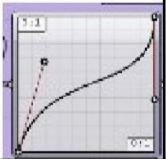
#	8
	
X3	45
Z3	100
X2	30
Z2	50
X1	40
Z1	0
Control curva	
Radio sección	5
Repeticiones	12



Fig. 13 Valores del algoritmo y pieza 8 cocida