

Diseño y construcción de una plataforma de impresión 3D robusta y flexible bajo estándares *open hardware* y *open source*

SANTIAGO BLANDÓN OSORIO ⁽¹⁾ , ÁLVARO JOSÉ ROJAS ARCINIEGAS ⁽²⁾

(1) santiago.bldn@gmail.com

(2) ajrojas@uao.edu.co

Departamento de Automática y Electrónica
Universidad Autónoma de Occidente
Santiago de Cali, Colombia

Diseño y construcción de una plataforma de impresión 3D robusta y flexible bajo estándares *open hardware* y *open Source*

RESUMEN

Palabras clave:

Impresión 3D; manufactura aditiva; fabricación por filamento fundido (FFF)

La impresión 3D ha permitido acortar la brecha que existe entre un diseño de un producto y un prototipo. Las tecnologías comerciales basadas en el método de Fabricación de Filamento Fundido (FFF) cuentan con una serie de limitaciones que dificultan explorar nuevos materiales, condiciones de operación, estrategias de control, etc. En este artículo se reporta el proceso de desarrollar una plataforma de impresión robusta y flexible, que permita trabajar no solo con FFF si no que permita realizar pruebas con otros tipos de materiales, y métodos similares de impresión, aplicando una metodología estructurada de diseño concurrente que permite generar y evaluar las diferentes alternativas de diseño hasta obtener un prototipo de una plataforma de impresión 3D robusta y flexible.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de impresión 3D son herramientas de manufactura aditiva en los cuales una pieza o geometría se logra mediante la adición de material por capas en lugar de la remoción de material como en los procesos de mecanizado tradicionales. Estos sistemas son herramientas de prototipado rápido ya que permiten pasar de un modelo virtual a la fabricación de éste, de una manera fácil y rápida.

Actualmente, los sistemas más asequibles se basan en el principio de Fabricación por Filamento Fundido (FFF), que funde materiales termoplásticos suministrados como filamentos, depositandolos por capas hasta obtener la geometría deseada. Dichos sistemas se han popularizado mediante estrategias de open hardware que se han encargado de difundir diseños de sistemas de impresión por FFF de muy bajo costo. Sin embargo, estas alternativas resultan limitadas y frágiles a la hora de explorar el uso de nuevos materiales, cambios en los parámetros de operación, nuevas estrategias de control, la utilización otros tipos de material. Debido a esto resulta importante el diseño y la construcción de un sistema de impresión que sirva como base para el desarrollo para sistemas basados en FFF y tecnologías similares.

II. PROCESO DE IMPRESIÓN 3D

Existen diferentes métodos de impresión 3D que difieren tanto en el material como en las características finales del objeto fabricado, algunos de los métodos de impresión más conocidos son:

A. Estereolitografía (SLA)

Es uno de los procesos de impresión 3D más antiguos, patentado en 1986, se basa en la solidificación por capas de polímero fotosensible usando luz ultravioleta (UV) [1].

B. Sinterizado Selectivo por Laser (SLS)

Se basa en sinterizar polvos de manera selectiva con un láser para realizar cada capa o corte transversal del objeto, en este proceso se utilizan dos cámaras, en uno de ellos se construye la pieza y en el otro

se encuentra el material de suministro. Mediante un mecanismo con rodillo se transporta el material de la cámara de suministro a la cámara de construcción [2].

C. Material Jetting (MJ)

Este proceso utiliza el principio del sistema de impresión convencional de documentos Inkjet, se utilizan gotas de fotopolímero sobre una base para formar cada capa, esta se solidifica cuando se expone a luz UV, las piezas creadas con MJ se pueden utilizar inmediatamente sin ningún post tratamiento además se utiliza un material de soporte en gel el cual se puede retirar fácilmente.

D. Deposición directa de energía (DED)

En este sistema de impresión el material se agrega directamente sobre la fuente de energía fundiéndolo sobre la superficie en la cual se imprime, en la cual se utilizan diferentes tipos de materiales como polímeros, cerámicos y matrices de metal. Este proceso generalmente utiliza como fuente de energía un láser o un rayo de electrones, para la fabricación de piezas y se requiere un material de soporte [3].

E. Fabricación mediante filamento fundido (FFF)

Este proceso de fabricación utiliza filamentos de materiales termoplásticos los cuales se introducen de manera mecánica a un cabezal extrusor, ahí se eleva la temperatura para poderse extruir por una boquilla la cual deposita el material en una plataforma mientras se generan los movimientos que permite la generación de cada capa del objeto deseado.

1) Materiales utilizados en Sistemas de impresión FFF.

Los sistemas de impresión de FFF utilizan materiales termoplásticos basados en su mayoría en el ABS y PLA.

a) *Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)*: El ABS es un material resistente al impacto es un producto derivado del petróleo teniendo una densidad se encuentra 1.050 hasta 1.070 g/cm³ utilizando temperaturas para su extrusión en promedio de 215 °C, este material permite tratamientos posteriores para obtener otras terminaciones.

b) *Acido Poliláctico (PLA)*: Este material es un termoplástico biodegradable el cual se puede obtener del almidón de maíz, caña azúcar y yuca. La densidad de este material se encuentra entre 1.210 hasta 1.430 g/cm³ utilizando temperaturas de extrusión en promedio de 160 °C. Este material tiene como desventaja que no permite tratamientos posteriores a la fabricación y que las características mecánicas son menores a las obtenidas con el ABS pero la contracción del material debido a la temperatura es poca y en el proceso de impresión no se generan gases nocivos.

c) *Otros Materiales utilizados en FFF*: Los sistemas de impresión en FFF también se pueden utilizar otros materiales como Laywood que permite obtener características similares a la madera, FilaFlex y otros materiales que permite características especiales. Otros termoplásticos tradicionales como el PET y Nylon requieren características especiales en el sistema de impresión.

III. DESARROLLO DE LA PLATAFORMA DE IMPRESIÓN

Actualmente la UAO cuenta cinco sistemas de impresión 3D comerciales de tipo FFF. Estos sistemas poseen diferentes limitaciones debido a su carácter comercial, dificultando los procesos de experimentación y limitándose a los diferentes parámetros de funcionamiento, componentes y parámetros brindados por los fabricantes. Por ello resulta necesario el diseño y la construcción de una plataforma de impresión que cuente con las fortalezas de los sistemas de impresión comerciales y supla alguna de las debilidades de estos. Otra de las características deseables es que este sistema posea un cabezal de extrusión modular el cual permita la experimentación con otros tipos de material y métodos que funcionen bajo un principio similar. Teniendo en cuenta lo anterior y la complejidad del sistema, el desarrollo del proyecto se realiza siguiendo una metodología estructurada de diseño de concurrente, basada en el QFD [4].

A. Identificación de necesidades

En el proceso de identificación de necesidades se ha tenido en cuenta las experiencias que se han generado en el uso de las impresoras 3D presentes en

la UAO y también las necesidades de la universidad para realizar procesos de investigación en el área de manufactura aditiva. En la TABLA I se pueden observar las necesidades identificadas para este proyecto.

Se puede observar que las necesidades 11 y 13 resultan ser las de mayor importancia, debido a que en los sistemas comerciales no hay una plataforma que permita la utilización de diferentes tipos de material que no se basen en termoplásticos de manera sencilla, actualmente Makerbot en su quinta generación de impresoras 3D ha creado el Smart Extruder [5] el cual es un cabezal extrusor modular el cual permite una fácil instalación pero este solo se basa en sistemas FFF.

TABLA I. NECESIDADES DEL SISTEMA IMPRESIÓN			
#	NECESIDAD.		IMP
1	La plataforma de impresión	es segura	3
2	La plataforma de impresión	es robusta	3
3	La plataforma de impresión	es de bajo costo	1
4	La plataforma de impresión	es fácil de instalar	1
5	La plataforma de impresión	es de fácil mantenimiento	1
6	La plataforma de impresión	es precisa y exacta	9
8	La plataforma de impresión	permite obtener alta resolución de impresión	9
9	La plataforma de impresión	es liviana	1
10	La plataforma de impresión	es compacta	1
11	La plataforma de impresión	es escalable	9
12	La plataforma de impresión	permite obtener un volumen de impresión grande	3
13	La plataforma de impresión	permite cambiar fácilmente de cabezal	9
14	La plataforma de impresión	permite interactuar fácilmente con los componentes	3
15	La plataforma de impresión	imprime fácilmente	3
16	La plataforma de impresión	permite calibrarse de una manera fácil	3

B. Generación de métricas del sistema.

Se genera las métricas a partir de las necesidades identificadas anteriormente las cuales permiten medir las necesidades de manera cuantitativa. En la TABLA II, se pueden observar las métricas del sistema.

En la TABLA III se presenta el método de evaluación para las métricas 1 y 21.

La métrica de seguridad se evalúa con la clasificación de riesgos de la norma ISO 13849-1 [6] y el método de transferencia se evalúa a partir de los métodos más utilizados en sistemas de impresión comerciales.

C. Quality Function Deployment (QFD)

El despliegue de la función de calidad en su primera fase se realiza evaluando las necesidades y las métricas para conocer su prioridad; en el Anexo 1 se puede observar la matriz que las relaciona y de este se evidencia que las prioridades en el diseño se encuentran en la resolución de impresión, la exactitud del movimiento, precisión de impresión y el tiempo de cambio de cabezal, reflejando las necesidades identificadas.

De igual manera se realiza la matriz de correlación para evaluar las métricas con sus mismas y conocer los inconvenientes o la sinergia entre las especificaciones de diseño (ver Anexo 2).

D. Benchmarking

Mediante el benchmarking se evalúa el rendimiento de un sistema en relación con otros presentes en el mercado con las necesidades y métricas identificadas para así determinar las especificaciones que debe tener la plataforma de impresión 3D (ver TABLA II), estos valores han sido recopilados de otros en este proceso se han seleccionado tres sistemas comerciales:

1. Prusa Mendel i3: Impresora 3D Open Source diseñada en la comunidad Reprap.

2. Makerbot Replicator 2X: Impresora 3D desarrollada por 3D systems. Inició como un proyecto Open Source.

3. Ultimaker 3: Impresora 3D desarrollada por Ultimaker; al igual que makerbot inicio como un proyecto Open Source.

TABLA II. MÉTRICAS Y BENCHMARKING [7]

MÉTRICA	IMP %	UND	ULTI MAKER 2	MAKERBOT REPLICAT 2X	PRUSA MENDEL I3
Seguridad de maquinaria	3.9	Lista	B	B	B
Costo	1.3	\$	2499	2499	500
Peso	2.6	Kg	12	12,6	7
Alto	1.3	cm	35,7	32	42
Largo	1.3	cm	34,2	49	37

Ancho	1.3	cm	38,2	43	38
Resolución de impresión	11.8	µm	20	100	100
Exactitud de movimiento	11.8	%	95	85	80
Precisión de movimiento	11.8	%			
Escalable	11.8	Sub.	+	+	++
Volumen de impresión	3.9	cm×cm ×cm	23x22,5x 20,5	24,6x15,5x 15,5	20x20x 18
Velocidad de impresión	3.9	min			
Velocidad del Cabezal	1.3	mm/s	30 - 300	80 - 100	50-100
Temperatura de operación del sistema	1.3	°C	15-32	15 - 32	15 - 32
Tiempo de Calibración del sistema	3.9	min	25	25	30
Tiempo de ensamble	2.6	min	NA	NA	NA
Tiempo de Cambio de cabezal	12.2	min	NA	NA	NA
Numero de pasos para imprimir	1.3	#			
Facilidad de uso	3.9	%	95	80	75
Peso del Cabezal	4.4	Kg			
Método de transferencia de archivo	0.4	Lista	A-B	A-B	A-B
Temperatura de plataforma	0.4	Bina- ria	1	1	1
Tipo de mantenimiento	1.3	Sub	-	-	+

TABLA III. TIPO DE RIESGO EN MÁQUINAS ISO 13849-1 Y MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS

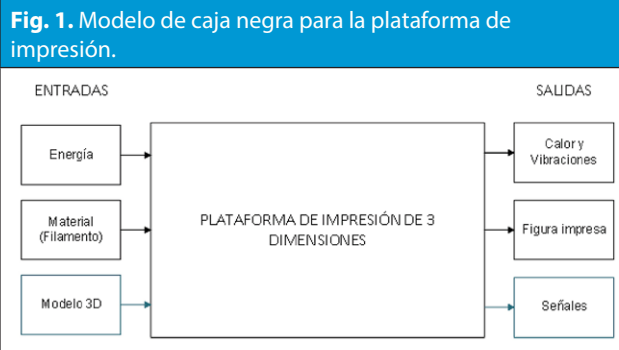
TIPO DE RIESGO	TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA	TIPO	MEDIO
A	No eléctrico	A	Cable USB
B	Electromecánico	B	Tarjeta SD
C	Electrónica Compleja	C	WiFi
D	A combinado con B	D	Bluetooth
E	C combinado con B		
F	C con A, o C con A y B		

De este análisis se puede concluir que las dimensiones de impresión de los sistemas de impresión son similares; de igual manera la facilidad de uso es mayor en los sistemas comerciales ya que estos presentan software específico para el control de sus

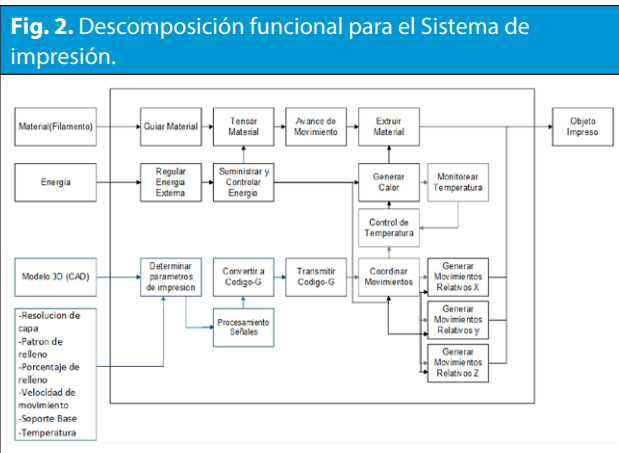
dispositivos. También sobresale la Ultimaker 2, que para estar en la misma generación y precio, presenta características superiores en la resolución de impresión y en la velocidad de movimiento del cabezal extrusor.

E. Generación de Conceptos

En esta etapa se empieza a abordar el sistema de manera general por eso se realiza la caja negra para ver como el sistema interactúa con los elementos externos de forma generalizada. Fig. 1.



Teniendo identificado como el sistema interactúa con los elementos externos se realiza la descomposición funcional con el fin de dividir el problema en subfunciones críticas para abordar el problema Fig. 2.



Conociendo los puntos críticos del sistema, la construcción del sistema se divide en dos, la parte estructural de la plataforma de impresión y el desarrollo del software con la electrónica.

1) Estructura

En primer lugar debe considerarse que tipo de arquitectura que se implementará.

a) Generación de movimientos.

Para la generación de movimiento se exploraron diferentes arquitecturas existentes. Entre las cuales se:

Cartesiano: en este tipo de arquitectura cada actuador se encuentra asociado a un eje de coordenadas cartesianas [8] lo cual facilita desacoplar el diseño. En general su área de trabajo esta confinada por la estructura de la impresora.

Delta y robots paralelos: principalmente la velocidad de movimiento es mayor en relación los otros sistemas, posee poca inercia en el cabezal, utilizan diseño modular pero tienen un espacio de trabajo pequeño con relación a su estructura y complejo el cual posee singularidades. El proceso de calibración es complicado y sus articulaciones tienen componentes complejos [9].

Polar: Cuenta con alta velocidad de movimiento y su complejidad estructural es pequeña además de que cuenta con una buena resolución pero requiere un torque alto y variable [10]. Adicionalmente el software de control no se encuentra optimizado para estructuras con arquitectura polar.

Brazo Articulado: Brinda mayor flexibilidad debido a una mayor cantidad de grados de libertad [11] por lo cual en sistemas de impresión 3D permitiría la construcción de geometrías más complejas. Sin embargo, requiere torques grandes y variables sobre las articulaciones lo cual puede generar problemas de balance y grandes momentos de inercia, por tanto inestabilidad dinámica [10]. De igual manera los sistemas de control son mucho más complejos.

b) Elementos estructurales

Utilizando las herramientas de fabricación digital presentes en la UAO y realizando una búsqueda externa, algunas de las opciones más comunes para la construcción de la estructura se pueden apreciar en la TABLA IV. Se decide seleccionar perfiles T-slotted de aluminio por su rigidez, facilidad de configuración y accesorios disponibles que permiten una gran flexibilidad y reconfigurabilidad para el sistema.

TABLA IV. POSIBLES COMPONENTES PARA LA ESTRUCTURA

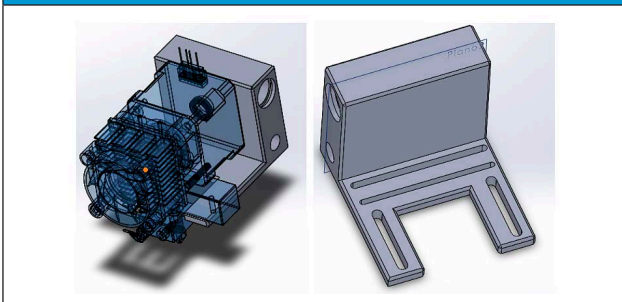
MATERIAL	LIMITE ELÁSTICO [MPa]	TENSIÓN DE ROTURA [Mpa]
Acrílico [12]	3200	75
MDF [13]	3590	35.85
Perfil T-Slotted [14]	70326	249.3

c) Soporte de cabezal

Buscando el cumplimiento de requerimientos de flexibilidad, era importante obtener un soporte para el cabezal de extrusión que permitiera su fácil instalación, ampliación y adaptarse a otros métodos de impresión. A continuación se detallan algunas alternativas consideradas.

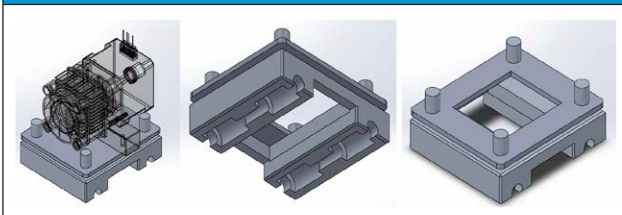
Concepto 1: Se busca que la sujeción del soporte del cabezal quede sobre un extremo para poder dar libertad a cabezales de gran tamaño y se busca que los cabezales se puedan fijar mediante las ranuras en la superficie de soporte.

Fig. 3 Modelo CAD del concepto 1 del cabezal.



Concepto 2: se quiere brindar mayor libertad a los diferentes tipos de cabezal, permitiendo acoplarse sobre una placa de acople la cual se fija al soporte del cabezal extrusor, de esta manera se permite utilizar diferentes tipos de extrusores y solo se debe diseñar la placa de acople.

Fig. 4. Modelo CAD del concepto 2 del cabezal.



2) Software y electrónica

El software de control y la electrónica son fundamentales en el proyecto pero no se afectan en gran

medida por el diseño de la estructura, por lo tanto se exploran de manera independiente:

a) Firmware

El firmware es el código que ejecuta el microcontrolador y se encarga de interactuar directamente con los sensores y actuadores. Se ha optado por evaluar tres firmwares open source los cuales son:

Teacup: creado en su mayoría en C, permite ser más rápido utilizando solo variables del tipo entero para realizar todas las operaciones más precisas y minimizar el tiempo de cómputo.

Sprinter: Firmware flexible y compatible con varias tarjetas electrónicas. Es de los firmwares open source más antiguos.

Marlin: Creado a partir de Sprinter y otro firmware llamado Grbl, este firmware ha permitido la implementación de sistemas de control PID.

b) Interfaz de usuario

Realiza la carga y conversión del modelo CAD a G-Code. Igualmente realiza la comunicación entre el computador y el microcontrolador, permitiendo fijar los parámetros de impresión. Algunos de los software más utilizados son:

Skeinforge. Este software permite la conversión de modelos 3D utilizando scripts Python, bajo licencia GNU AGPL. Skeinforge soporta las extensiones CAD (STL GTS OBJ SVG XML GCODE BFD) en G-Code, al estar basado en Python.

Repsnapper. Es un software multiplataforma el cual permite convertir archivos STL a G-Code. Escrito en C++, su funcionamiento es más rápido que otros scripts que convierten modelos 3D a G-code y se encuentra bajo licencia GPL V2.

Repetier Host. Es un software multiplataforma gratuito, compatible con los firmwares más populares el cual inicialmente fue Open Source pero a partir de su versión 0.91 es restringido. Compatible con formatos de modelos 3D (STL OBJ AMF y 3DS) se caracteriza por su interfaz simple de usar y su soporte de varias impresoras.

c) Electrónica

RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield): es una tarjeta modular diseñada para sobreponerse (Shield) en el Arduino Mega R3. Actualmente, en su versión 1.4, contiene características deseables como diferentes protecciones eléctricas y permite utilizar hasta 5 drivers de manera directa.

RAMBO (RepRap Arduino-compatible Mother Board): es una tarjeta electrónica utilizada en los sistemas de impresión 3D la cual integra el entorno del ATmega2560 con la RAMPS en una misma placa.

F. Combinación de Conceptos

En esta etapa se busca encontrar una solución global para el sistema con los elementos seleccionadas en la generación de conceptos, que satisfaga las necesidades identificadas inicialmente. Por tanto se crea una tabla para combinación de conceptos (TABLA V), en la cual se presentan los conceptos globales que podrían dar solución al problema.

TABLA V. COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

NUM	ARQUITECTURA	ESTRUCTURA	SOPORTE DEL CABEZAL
1	Cartesiana	Acrílico	Concepto 1
2	Delta	Perfil T-Slotted	Concepto 2
3	Polar	Acrílico	Concepto 1
4	Cartesiana	Perfil T-Slotted	Concepto 1
5	Cartesiana	MDF	Concepto 2

Para desarrollar el concepto final se utilizan las matrices de tamizaje de conceptos. Se utiliza como referencia inicialmente la Ultimaker 2 que en el Benchmarking había sobresalido. En la TABLA VI se muestra la matriz de tamizaje.

TABLA VI. MATRIZ DE TAMIZAJE

CRITERIO	CONCEPTO					REF
	1	2	3	4	5	
Robustez	0	0	0	+	-	0
Volumen de impresión	+	-	0	+	+	0
Cambio de cabezal fácilmente	0	+	0	0	+	0
Calibración del sistema	0	-	-	0	0	0

Interacción con los componentes	+	0	+	+	+	0
Positivo	2	1	1	3	3	
Igual	2	2	3	2	1	
Negativo	0	2	1	0	1	
Total	2	-1	0	3	2	
Orden	2	5	4	1	3	
Continuar	Combinar	No	No	Si	Combinar	

A partir de la matriz de tamizaje se refinan los conceptos, tratando de aprovechar características positivas (ver TABLA VII).

TABLA V. COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

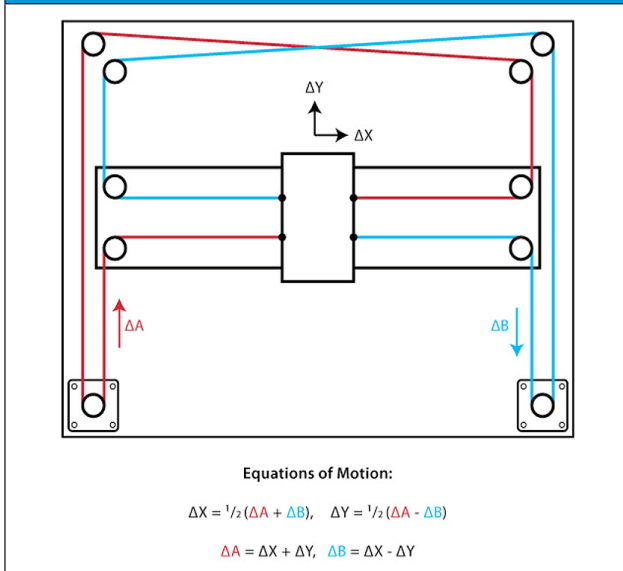
#	ARQUITECTURA	ESTRUCTURA	SOPORTE DEL CABEZAL
1	Cartesiana	Acrílico	Concepto 2
2	Cartesiana	Perfil T-Slotted	Concepto 2
3	Delta	Perfil T-Slotted	Concepto 2

Teniendo en cuenta los conceptos generados de la TABLA VII se realiza el diseño de la plataforma de impresión con el concepto 2, ya que como se observa en la TABLA IV ese tipo de perfiles tienen mejores propiedades mecánicas que el acrílico y sus ranuras en T permiten fácilmente la fijación de elementos, aunque el acrílico no deja de ser mala opción ya que al trabajar con herramientas de fabricación digital como cortadoras laser se reduce el error humano. En la electrónica se trabajara con la tarjeta RAMPS ya que su modularidad con los drivers permite seleccionarlos de acuerdo a los motores y con el software se trabajara con el Repetier Host ya que es un software bastante amigable y sencillo de utilizar por el usuario final.

G. Diseño detallado

Para el diseño del sistema de movimientos cartesianos se parte de un sistema H-BOT para trabajar con sistema Core XY [15], ya que este se podría considerar un sistema el cual se puede escalar de una manera más sencilla ya que su implementación se realiza mediante correas dentadas y poleas, en este sistema el desplazamiento del extrusor es una combinación del movimiento de los motores, ver Fig. 5.

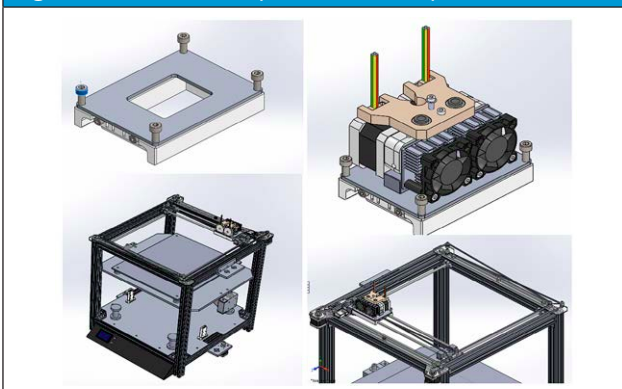
Fig. 5. Configuración Core XY [15]



El Eje-Z es importante debido a que este es el que brinda la resolución de capa, por esta razón se utiliza un tornillo de potencia, acero inoxidable 303. El uso de este tipo de tornillos brinda mayor garantía al sistema debido a su bajo backlash, utilizando un tornillo de 5mm de avance se obtiene una resolución de 0.002mm/paso cuando se trabaja con un motor paso a paso de 1.8°/paso. La construcción de la tuerca se realiza mediante procesos de mecanizado tradicional. Se utilizan dos motores para permitir una mayor carga sobre la plataforma que responde a la mayor área de impresión.

Para el diseño de varias piezas se tienen en cuenta herramientas de fabricación digital las cuales dinamizan el proceso de fabricación. En Fig. 6, se pueden observar los modelos de las piezas que se fabricaron.

Fig. 6. Diseño CAD de la plataforma de impresión 3D



Se realiza una prueba para ver la deformación en la base de elevación, ante una carga de 5kg se presenta una deformación máxima de 0.2 mm, ver Fig. 7. Se realiza también un análisis estático para el bloque del rodamiento lineal que es el que soporta los ejes en los que se desplaza el cabezal extrusor, ante un fuerza 10N sobre el bloque se presenta una flexión de 0.4mm (Fig. 8). Estos valores garantizan que la precisión y exactitud requeridas del sistema son alcanzables.

Fig. 7. Análisis estático para la base de elevación

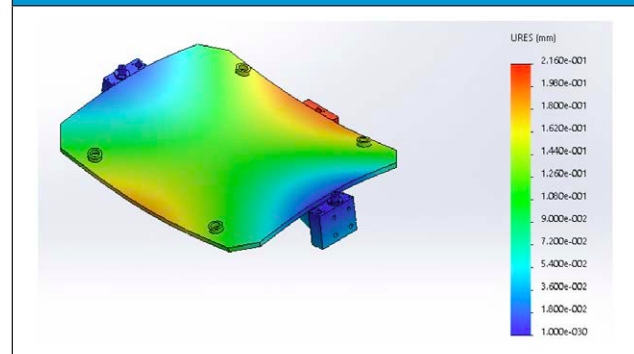
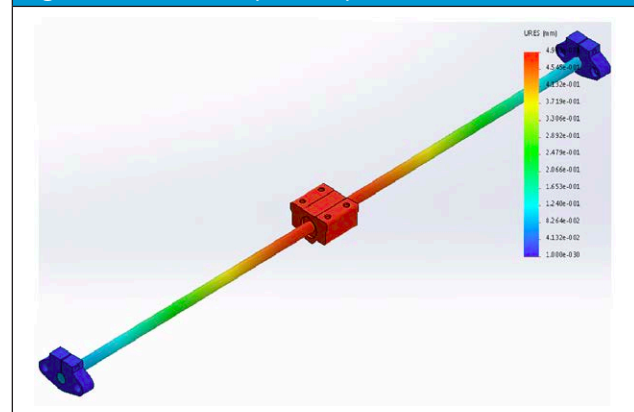


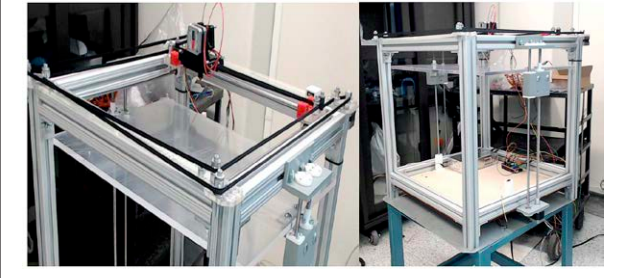
Fig. 8. Análisis estático para bloque de rodamiento lineal



H. Implementación

La utilización de los perfiles de aluminio T-Slotted permiten la fijación rápida de elementos, lo cual brinda modularidad y flexibilidad para el posicionamiento de sensores y actuadores. La fabricación del soportes del cabezal extrusor, ejes y motores se realizó en ABS (impreso) y Acrílico (corte laser). Las pruebas de impresión se realizan con un cabezal de la impresora makergear, corroborando el funcionamiento y la flexibilidad del sistema desarrollado. La plataforma de impresión se puede ver en la Fig. 9.

Fig. 9. Fotografías de la implementación de la plataforma de impresión



IV. CONCLUSIONES

Los sistemas de impresión 3D de FFF presentan diversas falencias que no permiten realizar mayor experimentación e investigación entre los que se encuentran aspectos de rigidez estructural, dificultad para cambiar parámetros de operación y que sus componentes resistan dichas condiciones, poca flexibilidad para realizar cambios en el cabezal de extrusión o para integrar nuevos componentes. Estas falencias motivaron el desarrollo de una plataforma de impresión 3D robusta y flexible para atender estas necesidades.

Mediante el uso de una metodología estructurada y concurrente se pudo explorar diferentes soluciones para los subsistemas que lo componen, integrándolos hasta obtener un sistema que satisface las necesidades planteadas.

Actualmente el sistema se encuentra en etapa de pruebas y ajustes. Se espera integrar nuevos cabezales de impresión para experimentar con nuevos materiales y estrategias, así como incorporar un sistema de supervisión para tener un mayor control sobre la

salida de material y poder incrementar la calidad y confiabilidad tanto del proceso como del producto.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] P. J. Bartolo, *Stereolithography - Materials, Processes and Applications*: Springer, 2011.
- [2] S. Capuz Rizo, *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 1999.
- [3] G. Gian, D. Rosen, and B. Stucker, "Additive Manufacturing Technologies," in *3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, ed: Springer, 2015.
- [4] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product design and development*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [5] Makerbot. (2015, June). Makerbot Smart Extruder. Available: <https://store.makerbot.com/smartextruder>
- [6] I. T. 199, "ISO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design," ed, 2006.
- [7] Purch. (2015, April). 3D Printers, REVIEWS AND COMPARISONS. Available: <http://3d-printers.toptenreviews.com/>
- [8] L.-W. Tsai, *Robot analysis : the mechanics of serial and parallel manipulators*. New York ; Chichester: Wiley, 1999.
- [9] Z. Pandilov and K. Rall, "Parallel Kinematics Machine Tools: History, Present, Future," *Mechanical Engineering - Scientific Journal*, vol. 25, 2006.
- [10] A. Kuttan, *Robotics*. New Dhali: IK International, 2007.
- [11] A. K. Guptam and S. K. Arora, *Industrial Automation and Robotics*. New Delhi: Laxmi Publication, 2011.
- [12] MISUMI. (2015, July). Clear resin and glass plate properties. Available: http://fawos.misumi-ec.com/automationmaterials/rp/data/view_property.php?page=tab2_cate2_03
- [13] F. P. Laboratory, *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. Madison, WI: U.S: USDA, 2010.
- [14] 80/20-inc. (2005, July). T-Slotted Framing. Available: <http://www.8020.net/T-Slot-6.asp>
- [15] I. E. Moyer. (2012, July). Core XY. Available: <http://co-rexy.com/theory.html>

MEMORIAS

ANEXO 1. MATRIZ DE RELACIÓN NECESIDADES – MÉTRICAS

NUM	NECESIDADES	MÉTRICAS																							
		Peso	seguridad de maquinaria	Costo	Peso	Alto	Largo	Ancho	Resolución de impresión	Exactitud de movimiento	Precisión de movimiento	Escalable	Volumen de impresión	Velocidad de impresión	Velocidad del Cabezal	Temperatura del Sistema	Tiempo de Calibración del sistema	Tiempo de ensamble	Tiempo de Cambio de cabezal	Numero de pasos para imprimir	Facilidad de uso	Peso del Cabezal	Método de transferencia de archivo	Temperatura de plataforma	Tipo de mantenimiento
1	es segura	3	9																						
2	es robusta	3			3																				
3	es de bajo costo	1		9																					
4	es fácil de instalar	1																9							
5	es de fácil mantenimiento	1																							9
6	es precisa y exacta	9							9	9															
8	permite obtener alta resolución de impresión	9						9																	
9	es liviana	1			9																				
10	es compacta	1				9	9	9																	
11	es escalable	9									9														
12	permite obtener un volumen de impresión grande	3										9													
13	permite cambiar fácilmente de cabezal	9																	9			3			
14	permite interactuar fácilmente con los componentes	3																3	1						
15	imprime fácilmente y rápidamente	3											9	3						3	9		1		
16	permite calibrarse de una manera fácil	3														9									
Prioridad		27	9	18	9	9	9	81	81	81	81	27	27	9	9	27	18	84	9	27	30	3	3	9	
Prioridad Elevada		3.9%	1.3%	2.6%	1.3%	1.3%	1.3%	11.8%	11.8%	11.8%	11.8%	3.9%	3.9%	1.3%	1.3%	3.9%	2.6%	12.2%	1.3%	3.9%	4.4%	0.4%	0.4%	1.3%	

ANEXO 1. MATRIZ DE RELACIÓN NECESIDADES – MÉTRICAS

1	seguridad de maquinaria																									
2	Costo																									
3	Peso																									
4	Alto																									
5	Largo																									
6	Ancho																									
7	Resolución de impresión																									
8	Exactitud de movimiento																									
9	Precisión de movimiento																									
10	Escalable																									
11	Volumen de impresión																									
12	Velocidad de impresión																									
13	Velocidad del Cabezal																									
14	Temperatura del Sistema																									
15	Tiempo de Calibración del sistema																									
16	Tiempo de ensamble																									
17	Tiempo de Cambio de cabezal																									
18	Numero de pasos para imprimir																									
19	Facilidad de uso																									
20	Peso del Cabezal																									
21	Método de transferencia de archivo																									
22	Temperatura de plataforma																									
23	Tipo de mantenimiento																									
Preferencia		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		

Aumentar	▲
En un Valor	◇
Disminuir	▼
Preferencia	
Muy Pos	++
Pos	+
Neg	-
Muy Neg	--
Correlacion	

MEMORIAS