

Diseño e implementación de una impresora 3D core XY multifuncional

Design and implementation of a 3D multifunctional core XY printer

Sixto Prado¹ | Mark Peralta² | Diego Maravi³ | Mariano Iparraguirre⁴

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, simulación e implementación de una impresora 3D de geometría Core XY con capacidad de impresión aditiva y de láser, en el marco de una estrategia de desarrollo tecnológico con base científica enfocada en la región La Libertad-Perú. Como uno de los propósitos más importantes de este proyecto es obtener una metodología, protocolo y el saber cómo (know-how) desarrollar este tipo de dispositivos tecnológicos con las mejores prestaciones técnicas del mercado.

Una característica común en la formación de diversas profesiones como Ingenierías, medicina, odontología, arquitectura, artes, etc., es el uso de prototipos y maquetas para facilitar el entendimiento, análisis y síntesis de diversos conocimientos, así como el uso de estas como herramientas para validar diferentes trabajos de investigación o innovación tecnológica. En general, los prototipos y maquetas están formados por diversas piezas que los estudiantes fabrican y ensamblan en muchos casos de forma manual o con instrumentos que no les aseguran la exactitud requerida, robustez, estabilidad y elegancia del prototipo final. Lo que puede generar casos donde el diseño y modelamiento matemático de un trabajo académico esta adecuadamente fundamentado sin embargo su validación experimental es pobre debido a las incertidumbres constructivas del producto final del trabajo. En ingeniería, el prototipado y uso de maquetas es inherente a la propia carrera y su fabricación y ensamblaje eficiente permite una mejor comprensión y entendimiento de la diversidad de conocimientos que se integran para obtener un producto determinado, en caso contrario, es decir el uso de prototipos deficientes (partes mal ensambladas, exceso de fricción, juegos entre partes, excesivas vibraciones, etc...) puede afectar la motivación del estudiante y generar desconfianza en los conocimientos teóricos impartidos dado que el prototipo no trabaja según lo que se espera de la teoría.

Una propuesta de solución para lo descrito previamente, es la fabricación de piezas a partir de un archivo 3D mediante la sucesiva deposición de capas de material hasta obtener la pieza deseada. En el mercado existen diversos modelos de Impresoras 3D de bajo coste que permiten obtener piezas con geometría simple sin embargo también presentan continuos defectos en su funcionamiento cuando se quiere aumentar la complejidad de la geometría de la pieza a obtener y eso se debe a las limitaciones estructurales mecánicas, la simplicidad de los componentes de accionamiento, de sensorica y de control electrónico de dichos equipos. Intervenir en este tipo de equipos sin tener un adecuado know-how de cómo fueron diseñados y construidos puede ser contraproducente puesto que no se garantiza ninguna mejora en el producto, al contrario, podría generarse daños irreversibles a los equipos por la falta de conocimiento sobre ellos.

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de una impresora 3D altamente versátil, flexible de fácil instalación, que ocupe poco espacio, estable en su funcionamiento y en especial de tecnología abierta, es decir con hardware y software con código libre a fin de que permita a los estudiantes modificar y mejorar sus prestaciones futuras. Primero se definen los criterios de diseño y propiedades técnicas deseadas de la impresora, lo que permite seleccionar a la geometría Core XY como la más indicada para alcanzarlas. Segundo se valida el diseño mediante simulación, tercero se implementa la impresora 3D

multifuncional según resultados de la simulación y finalmente se muestran diferentes objetos impresos.

Palabras clave: *Fabricación aditiva, Impresora 3D, Automatización, CORE-XY.*

ABSTRACT

In this paper presents the design, simulation and implementation of a 3D printer with additive printing capacity and laser, within the framework of a technological development strategy focused on the region La Libertad-Peru. One of the most important purposes of this project is to obtain a methodology, protocol and know how to develop this type of technological devices with the best technical performance of the market.

A common feature in the formation of various professions such as engineering, medicine, dentistry, architecture, arts, etc., is the use of prototypes and models to facilitate the understanding, analysis and synthesis of various knowledge as well as the use of these as tools for validate different works of research or technological innovation. In general, the prototypes and models are made up of various pieces that students manufacture and assemble in many cases manually or with instruments that do not assure them the required accuracy, robustness, stability and elegance of the final prototype. This can generate cases where the design and mathematical modeling of an academic work is adequately supported, however, its experimental validation is poor due to the constructive uncertainties of the final product of the work.

In engineering, the prototyping and use of models is inherent to the profession itself and its efficient manufacturing and assembly allows a better understanding and understanding of the diversity of knowledge that is integrated to obtain a specific product, otherwise, that is, the use of deficient prototypes (poorly assembled parts, excess friction, interplay between games, excessive vibrations, etc ...) can affect the motivation of the student and generate distrust in the theoretical knowledge given that the prototype does not work according to what is expected from the theory.

A proposed solution for the previously described, is the manufacture of pieces from a 3D file through the subsequent deposition of layers of material to obtain the desired piece. In the market there are several models of low cost 3D printers that allow to obtain pieces with simple geometry but they also have continuous defects in their operation when you want to increase the complexity of the geometry of the piece to obtain and that is due to structural limitations mechanical, the simplicity of the drive, sensor and electronic control components of such equipment.

This paper presents the development and implementation of a highly versatile, flexible, easy-to-install 3D printer that occupies little space, stable operation and especially open technology, that is, with hardware and software with free code so that Allow students to modify and improve their future benefits. First, the design criteria and desired technical properties of the printer are defined, which allows selecting the Core XY geometry as the most suitable to achieve them. Second, the design is validated by simulation, third, the multifunctional 3D printer is implemented according to the results of the simulation and finally different printed objects are shown.

Keywords: *Additive manufacturing, 3D printer, Automation, CORE-XY*

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D o manufactura aditiva construye un objeto sólido tridimensional a partir de un archivo digital desarrollado por un software de diseño 3D y un proceso (existen diferentes técnicas)

de adición de material por capas que tendrán como resultado el objeto físico [1]. Una de las tecnologías más difundidas de impresión 3D es el FDM (Fused Deposition Modelling) dado su fácil acceso a información de diseño y bajo coste de implementación [2]. Actualmente existe un gran número de

procesos aditivos y comunidades de impresoras 3D que están en continuo desarrollo debido a que usan estrategias en código abierto, lo que ha permitido la construcción de impresoras 3D del tipo “hobby” que cualquiera puede construir, hasta diseños más avanzados [3].

Las ventajas de la impresión 3D son diversas: fabricación económicamente eficiente; producción rápida; ahorro de material; alta calidad y nuevos perfiles. La geometría de movimiento de una impresora 3D es una de las características más importantes a considerar en el diseño de la máquina, dado que de ella depende propiedades como: la velocidad de impresión, la simplicidad de implementación y la adaptabilidad hacia las diferentes técnicas de adición de material [4]. En esta línea, Una de las geometrías de movimiento que mejor responde a las tres propiedades mencionadas previamente es el Core XY que permite mover una plataforma en los ejes X e Y manteniendo los motores en la estructura fija. El movimiento en el eje Z se hace mediante un sistema de elevación por tornillos de potencia, que permite que la plataforma donde se realiza la impresión se desplace de manera vertical. Por otro lado, el movimiento sobre los ejes se obtiene mediante un sistema de ejes con rodamientos de lineales que son desplazados por unos motores acoplados a un sistema de transmisión por bandas de sincronización y poleas [5].

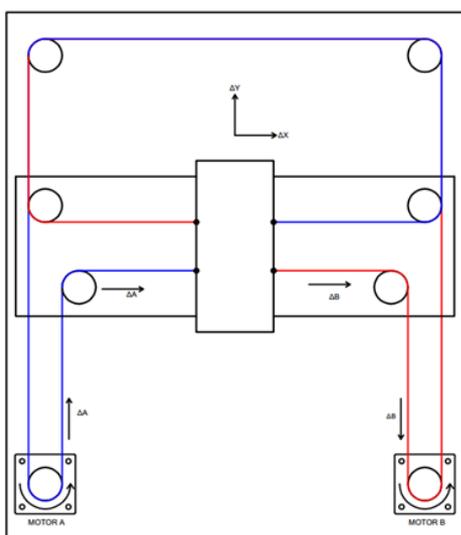


Figura 1: Geometría Core XY.

Por otro lado, el trabajo que se presenta aquí está motivado por fomentar el desarrollo tecnológico mediante una metodología que permita la replicabilidad de los equipos construidos en un contexto de innovación tecnológica enfocada en la región La Libertad-Peru y con ello contribuir a mejorar el desarrollo de prototipos y maquetas de alta calidad (precisión, exactitud, robustez, estabilidad, ensamble, elegancia) y replicabilidad que suelen ser usadas por la comunidad académica para validar o facilitar el entendimiento, análisis y síntesis de diversos conocimientos o propuestas de desarrollo tecnológicos [6-8].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Estructura mecánica:

En la Fig. 1 se muestra el esquema del recorrido del carro que contiene al extrusor (dispositivo que lleva acoplado el filamento o material de impresión 3D para luego fundirlo y depositarlo en una plataforma -cama caliente- y crear así una impresión 3D) sobre el plano XY de la impresora 3D con geometría Core XY implementado en este trabajo. El movimiento del carro es accionado por dos motores (motor A y motor B) y un sistema de transmisión-transformación de movimiento rotacional-lineal, basada en fajas y poleas. El sistema de transmisión evita que los motores estén acoplados directamente sobre cada eje de movimiento disminuyendo así el peso total de los mismos, y con ello se aumenta la velocidad de trabajo de impresión 3D.

Por otro lado, la geometría Core XY requiere de un movimiento simultáneo de los motores A y B que accionan a los ejes X y Y respectivamente, para generar un desplazamiento del carro sobre cada uno de ellos, según las siguientes ecuaciones:

$$\Delta X = (\Delta A + \Delta B) / 2 \quad (1)$$

$$\Delta Y = (\Delta A - \Delta B) / 2 \quad (2)$$

donde ΔX y ΔY , son los desplazamientos del carro sobre los ejes X y Y, cuando el sistema de transmisión se desplaza linealmente una cantidad ΔA y ΔB debido a un determinado ángulo de giro de los motores A y B respectivamente. Las ecuaciones (1) y (2) se obtienen según el siguiente razonamiento,

se considera inicialmente que solo se mueve un determinado ángulo el motor A (motor B parado), el sistema de transmisión convierte el ángulo girado en un ΔA (Fig. 2a) que a su vez mueve el carro una misma distancia tanto sobre el eje X como sobre el eje Y (dado que el sistema de transmisión acopla el movimiento del eje X al del eje Y) y debido a la configuración particular de la geometría Core XY, la distancia desplazada tanto en el eje X como en el eje Y siempre cumple que (Fig2 b):

$$\Delta X = \Delta A / 2 \quad (3)$$

$$\Delta Y = \Delta A / 2 \quad (4)$$

Sumando la Ec. (1) y la Ec. (2) se obtiene:

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y \quad (5)$$

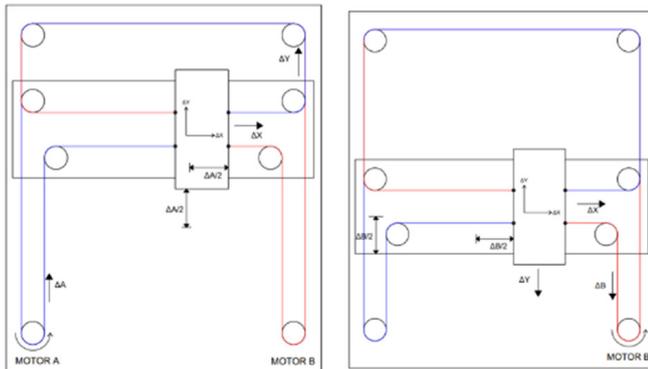


Figura 2: Movimiento del carro a) Solo el motor A se mueve; b) Solo el motor B se mueve.

La Ec. (5) representa el desplazamiento lineal del sistema de transmisión debido a un giro del motor A. Un razonamiento similar se aplica para determinar el desplazamiento sobre el eje X e Y para un giro del motor B (motor A parado). Aquí se debe considerar que el carro se desplaza en el eje X una distancia $\Delta B/2$ y en el eje Y una distancia $-\Delta B/2$ (el desplazamiento es en sentido contrario a la dirección del eje Y), obteniéndose:

$$\Delta X = \Delta B / 2 \quad (6)$$

$$\Delta Y = -\Delta B / 2 \quad (7)$$

De la Ec. (6) y Ec. (7) se obtiene:

$$\Delta B = \Delta X - \Delta Y \quad (8)$$



Figura 3. Simulación de la Impresora 3D desarrollada en este trabajo.

Hasta aquí se ha considerado que solo se mueve un motor a la vez, sin embargo, si se mueven ambos motores simultáneamente, es decir $\Delta A + \Delta B$, y despejando desde la Ec. (5) y la Ec. (8), se obtienen la Ec. (1) y la Ec. (2) que representan el desplazamiento lineal del carro que contiene al extrusor que permite fundir el material de impresión a fin de obtener el objeto impreso. Además, las Ec. (1) y (2) representan el set point para el sistema de control de la impresora 3D.

Las características de diseño de la impresora 3D FDM (modelado por deposición fundida) Core XY propuesta en este trabajo son (Fig. 3): Volumen de impresión: 300mmx300mmx300mm (Largo x Ancho x Alto); Estructura de aluminio con perfil 2020; Motor tipo paso a paso NEMA 17; Cama caliente de 750W 220Vac; Multiherramienta con un Laser grabador de 5.5W (se tiene como objetivo que la estructura mecánica de la Impresora 3D sea multifuncional); Doble motor para movimiento en el eje Z; Tarjeta de control de 32bits MKS SBASE V1.3; Hotend con calentador de 25W; Extrusor del tipo Bowden y de Titan; Hotend E3D V6 con Nozzle de 0.4mm; Diámetro de filamento de trabajo 1.75mm y Sistema con Doble extrusor y un solo hotend.

Cabe destacar que las piezas que conforman el carro que contiene al extrusor, las piezas soporte de

la plataforma de impresión en el eje Z y diversos elementos de sujeción para motores, finales de carrera, el hotend, barras de movimiento, poleas y la cubierta inferior fueron obtenidos mediante impresión 3D, con ello se quiere lograr un alto grado de replicabilidad de nuestro modelo a partir de la impresión 3D de sus partes.

La validación del diseño se hace mediante el CAD SolidWorks aplicando elementos finitos (FEA), en las zonas o partes que se consideró de gran importancia para la estabilidad y correcto resultado del proceso de impresión. El análisis de FEA no se aplicó a las piezas impresas debido a que presentan propiedades diferentes a los materiales convencionales a los que los resultados del FEA estándar son bastante acertados. Por ejemplo, en los materiales impresos se debe considerar variables y parámetros como: Orientación de impresión, porcentaje de relleno, tipo de relleno, cantidad de capas, temperatura de impresión, temperatura del ambiente al momento de imprimir, altura de capa, etc.

La estructura mecánica de la impresora 3D fue implementada en SolidWorks permitiendo simular sus movimientos y con ello tener información a priori del comportamiento general del equipo, así como los movimientos de cada pieza. Por otro lado, una variable importante de evaluación con el FEA fue obtener los valores máximos de deformación de las piezas dado que esta variable afecta la calidad de las piezas impresas al restarle precisión, exactitud y en especial en la adherencia de la pieza 3D a la plataforma –cama caliente-. Las piezas sometidas al FEA son:

Barras soporte del eje X. El eje X está formado por dos barras de 8mm de diámetro y 520 mm de largo (Fig. 4). El FEA realiza un análisis estático considerando los siguientes parámetros: Peso del carro con hotend: 160g (320g en total, se toma la mitad por ser dos ejes); peso extra para accesorios: 80g (160g en total, se toma la mitad por ser dos ejes); material de acero inoxidable; los extremos de la barra están fijos y el peso de la barra se concentra en su centro de masa. El resultado del FEA indica que la deformación máxima permisible, del eje X es 49 μm , sin embargo, este valor debe actualizarse cuando se aplique el FEA a la barra que soporta al eje Y puesto

que ambos ejes (X y Y) están acoplados por el sistema de transmisión de movimiento.

Barras soporte del eje Y. El eje Y está formado por dos barras de 8 mm de diámetro, de 450 mm de largo acoplados a los extremos de las barras que definen al eje X, tal que las barras del eje Y soportan el peso de las barras que definen el eje X (que a su vez soporta el carro que contiene el extrusor y el hotend). El FEA realiza un análisis estático considerando los siguientes parámetros: peso del eje X con carro y hotend 500g (1kg en total distribuido en los ejes); material acero inoxidable; extremos de la barra acoplados y peso de la barra concentrado en el centro de masa de la barra. El resultado del FEA indica que el eje Y debe presentar una deformación máxima de 53 μm .

A fin de asegurar una buena impresión 3D, se considera un valor de deformación máxima aquella menor a la mitad de la altura de primera capa común (300 μm) considerando el acople de ambos ejes X y Y y que en este trabajo da un valor de 102 μm .

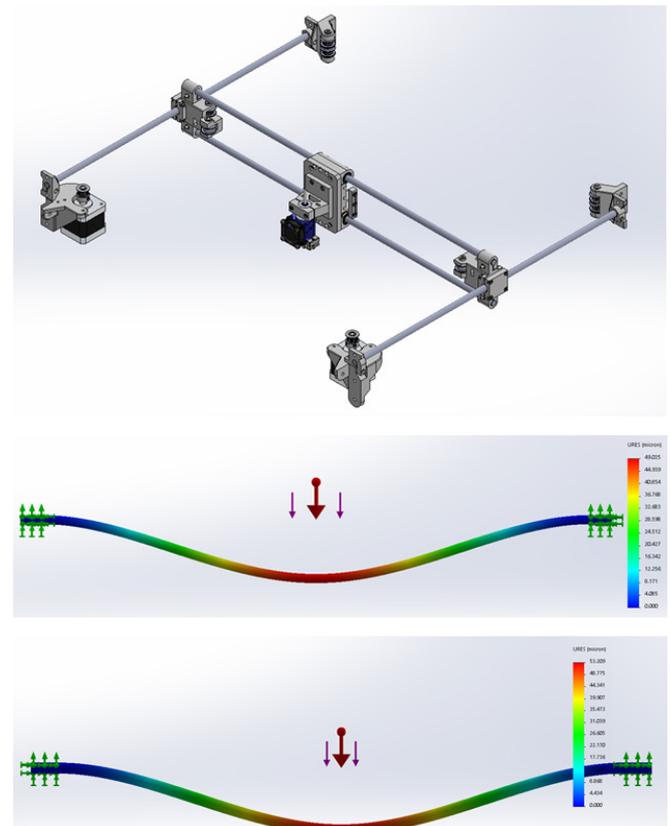


Figura 4: Ejes X and Y y sus correspondientes FEA.

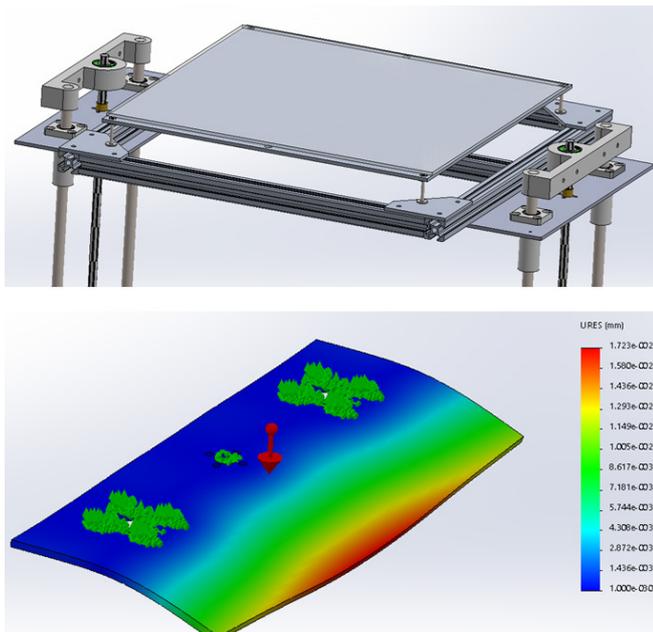


Figura 5: Platina de sujeción de la plataforma de impresión y su correspondiente FEA.

Platina de sujeción de plataforma de impresión.

Sujetan la plataforma de impresión, permiten su movimiento en la dirección del eje Z y tiene dimensiones de 250mm x 100mm x 3.175mm. El FEA realiza un análisis estático considerando los siguientes parámetros (Fig. 5): peso de la carga 2 kg (4kg considerando el peso de la plataforma 3.5kg con el vidrio y peso máximo de imprimible 0.5kg); material de aluminio; soportes fijos (puntos de agarre de los rodamientos y tuerca T del husillo). Una consideración importante en el análisis FEA es la deformación producida por la carga, que en el análisis dio una deformación máxima de 17 μm , lo que representa un valor aceptable que no afecta la calidad de la impresión 3D.

Plataforma de impresión. Sobre ella se deposita el material fundido que sale del extrusor y que luego da forma al objeto impreso en 3D. Tiene unas dimensiones de 320mmx320mmx3.175mm (Fig. 6). El FEA realiza un análisis estático considerando los siguientes parámetros: material de aluminio aleación 1060 y la carga con masa de 1.7kg (1.2 Kg del vidrio y 0.5kg de la masa máxima de material a considerar). El FEA indica que la deformación de la plataforma de impresión, cuando se considera solo la masa máxima del material a imprimir, es de 59 μm siendo la mayor deformación en el centro de la plataforma. La deformación en la plataforma de

impresión puede afectar a la geometría del objeto impreso, en particular cuando es de mayor peso. Por lo que aquí, se acopla una base de vidrio sobre la plataforma con dimensiones de 320mm x 300mm x 3mm y aun que la deformación de la plataforma varia este no afecta al objeto impreso dado que ahora reposara sobre la base de vidrio más robusto a las deformaciones y adicionalmente permite una mejor extracción de la pieza.

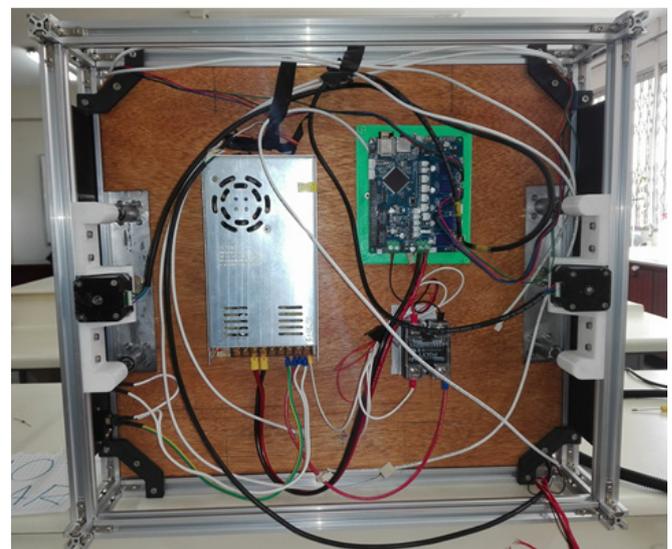
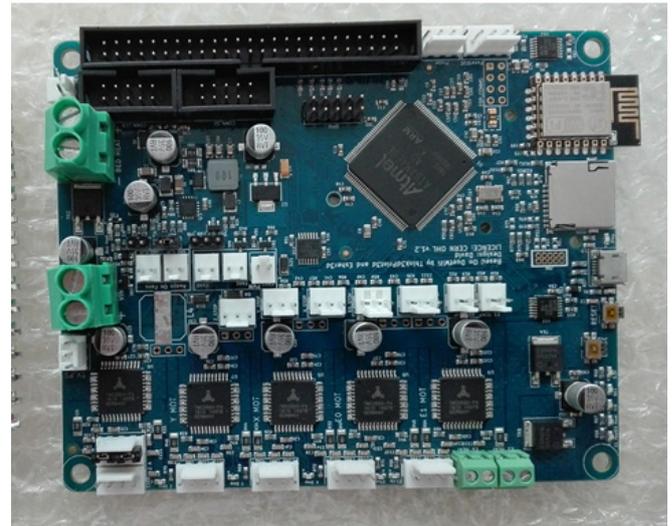


Figura 7: Tarjeta Electrónica MKS Sbase v1.3 de 32 bits.

3. SISTEMA ELECTRÓNICO

En este trabajo se utiliza para los cálculos, procesamiento e interacción con dispositivos de entrada (sensores) y de salida (actuadores) la tarjeta electrónica MKS Sbase v1.3, (Makerbase, 2017). El que presenta las siguientes características: plataforma

ARM con 32 bit 100M Cortex-M3 MCU-LPC 1768 (Fig. 7); Soporte controlador LCD, SD card, doble extrusor y capacidad de trabajo a control remoto; un driver DRV8825 con 32-microstep y finalmente tiene capacidad de configurar su propio Wi-Fi, entre otras importantes prestaciones.

3.1 Selección de Firmware:

Es el programa que permite interactuar de forma integrada y eficiente el hardware, la estructura mecánica de la impresora 3D y todos los periféricos a la tarjeta electrónica controladora. El Firmware interpreta y transfiere el código G generado por el Slicer a los drivers de los motores, además de controlar al mismo tiempo la temperatura, el movimiento, la aceleración, la velocidad, entre otros.

La elección correcta del firmware depende de la tarjeta electrónica controladora a utilizar, el tipo de movimiento mecánico y las funciones que tiene la

impresora 3D (presentes y futuras). Introduciendo estos datos en la web especializada Makerbase se tiene como resultado utilizar el firmware Smoothieware que es altamente modular facilitando desarrollos adicionales a la función principal de impresora 3D (por ejemplo, impresión láser o scanner) y es muy compatible con la geometría Core XY (nótese que, si alguno de los datos de entrada es cambiado, por ejemplo, la tarjeta controladora, entonces el firmware sugerido también puede cambiar). La configuración de Smoothieware se realiza en un único archivo "config.txt" que se guarda directamente en una tarjeta SD, utilizando para ello un bloc de notas en lugar de un programa VS Code o Atom (Arthur, 2017). El firmware se actualiza cada vez que se enciende la impresora 3D o al enviarle un comando de reinicio.

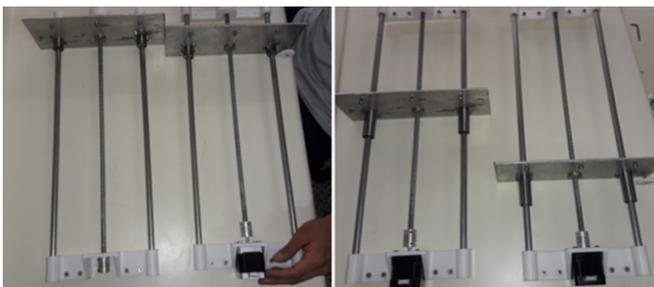


Figura 8: Diferentes partes y piezas de la Impresora 3D implementada en este trabajo.



Figura 9: Impresora 3D desarrollada e implementada en el proyecto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aquí se presenta como resultado la propia impresora 3D con capacidad multifuncional (aun que no se describe en este trabajo, la impresora 3D permite funciones de impresión láser y scanner), se han realizado diferentes pruebas que han permitido ajustar los parámetros mecánicos (Fig. 8), electrónicos y de programación del equipo hasta lograr resultados prometedores (Fig. 9). El proyecto de desarrollo de la impresora 3D sigue abierto esperando mejorar sus prestaciones con la inclusión de leyes de control realimentado y analizando el uso de diferentes

piezas y materiales a fin de lograr una mejor precisión, exactitud, mayor velocidad, minimizar ruido y menor peso de la impresora 3D. Es decir, nuestro objetivo es continuar con el desarrollo tecnológico con base científica enmarcado en una estrategia de innovación focalizada en la región La Libertad-Perú (Fig. 10).

Aquí se considera como un resultado importante haber obtenido una metodología (saber cómo) clara y ordenada que pasa por las tres fases: diseño, validación de lo diseñado mediante simulación para finalmente implementar físicamente el equipo. Esta metodología permite replicar la impresora 3D las veces que se crea necesario siendo este resultado de gran importancia en el entorno académico.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó, calibró y configuró la estructura mecánica, hardware y el software de una impresora 3D con geometría Core XY, en el marco de una estrategia de desarrollo tecnológico con base científica que apunta a fortalecer la innovación tecnológica regional específicamente en la región La Libertad-Perú. La elección de la geometría Core XY se debe a que presenta una mayor velocidad de respuesta (un factor para ellos es la ubicación particular de sus motores) y por ende requiere menos tiempo para acabar un producto impreso en 3D, por ejemplo, si se compara con a una impresora 3D cartesiana.

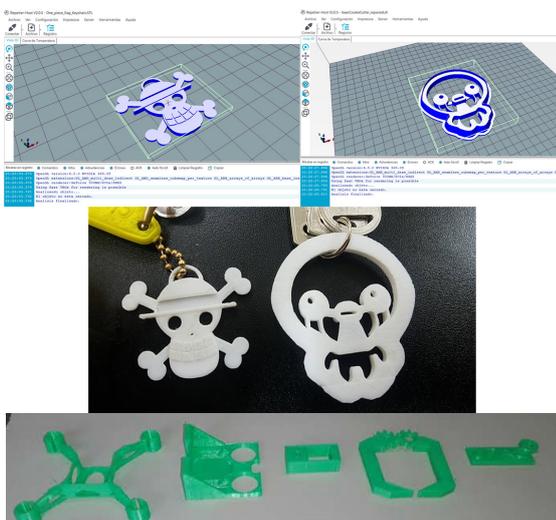


Figura 10: Diferentes piezas impresas con la impresora 3D desarrollada en el proyecto.

La meta no solo era obtener un producto tecnológico si no debería hacerse en el marco de una metodología clara y ordenada que asegure la replicabilidad del equipo las veces que así se requiera. El proyecto aún está abierto y se ha pasado a la fase de optimización de las variables relevantes del equipo construido, a fin de alcanzar la eficiencia multifuncional (la maquina está desarrollada tal que pueda funcionar como impresor laser y scanner). Finalmente se han mostrado los primeros productos impresos del equipo desarrollado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Collado. “Mejora del sistema de extrusión de una impresora 3D BCN3D Sigma”. 2016 ETSEIB-UPC. Barcelona-Spain.
- [2] 3D printing industry. 2017. Recuperado de <http://www.3dprintingindustry.com/>.
- [3] L. Aycardi y H. Tuiran, “Diseño y Construcción de una Impresora 3D de gran Formato con Tecnología de FFF tipo Core-XY basada en Arduino.”. 2017. Tesis. Universidad de Cordoba.
- [4] J. Travieso, J. Jerez-Mesa, G. Gómez-Gras. “Impresión 3D: del laboratorio a casa”. 2015. UPC. Barcelona-Spain
- [5] S. De la Peña. “Diseño del prototipo de un kit de impresora 3D”. 2015. ETSEIB-UPC, Barcelona-Spain.
- [6] J. Rodríguez. “Modelo cinemático y control de un brazo robótico imprimible 3D”. 2015, Carlos III, Madrid-Spain.
- [7] J. Morocho. “Las emergentes tecnologías enfocadas al diseño. Alcances de las tecnologías de fabricación por adición”. 2016, Universidad Azuay.
- [8] M. Ramos. “Diseño mecánico, impresión y montaje de un vehículo imprimible”. 2012, Carlos III, Madrid-España.